



# Passiefhuizen in Nederland

**build<sup>7</sup>desk**<sup>®</sup>

*save your energy*

# Passiefhuizen in Nederland



# Passiefhuizen in Nederland

ir. Chiel Boonstra, ir. Ragna Clocquet, ir. Loes Joosten

DHV BV

Deze studie werd mede mogelijk gemaakt door ondersteuning van het programma DEN,  
dat wordt uitgevoerd door SenterNovem

**Tekst en samenstelling**

ir. Chiel Boonstra,  
ir. Ragna Clocquet,  
ir. Loes Joosten, DHV BV

**Vormgeving**

Maurits Malherbe, DHV BV

**Uitgever**

Æneas, uitgeverij van vakinformatie bv  
Postbus 101  
5280 AC Boxtel  
[www.aeneas.nl](http://www.aeneas.nl)



© 2006, Æneas  
Uitgeverij van vakinformatie bv

Niets uit deze uitgave mag worden veeelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Redactie en uitgever stellen deze uitgave zorgvuldig en naar beste weten samen, maar kunnen niet instaan voor de juistheid van de weergegeven informatie. Zij aanvaarden geen enkele aansprakelijkheid voor schade, van welke aard dan ook, die het gevolg is van handelingen en/of beslissingen gebaseerd op de informatie in deze uitgave.

ISBN-10: 90-75365-81-0  
ISBN-13: 978-90-75365-81-8

# Voorwoord

Toen ik, lang geleden, als jong politicus in Schiedam probeerde medestanders te vinden voor zon passief bouwen, was de moeilijkste vraag om te beantwoorden: “als het zo gemakkelijk is, waarom wordt het dan niet meer gedaan?”.

Die vraag is nog steeds onbeantwoord, want hoewel enige duizenden zon passieve woningen in Schiedam de voordelen ruimschoots bewezen, is navolging teleurstellend beperkt gebleven. Dat is des te intrigerender omdat we al in 1994 zonder meerkosten woningen bouwden, waarvan het energiegebruik in de buurt komt van de onlangs aangescherpte norm voor energieprestatie.

Zon passief bouwen is niet magisch. Het is het herontdekken en met moderne techniek opnieuw toepassen van oude kennis. We moeten niet “vechten met de natuur”, maar natuurwetten tot eigen voordeel elegant gebruiken.

Wie zonder rekening te houden met microklimaat en bouwfysische processen een gebouw ontwerpt dat grote hoeveelheden extern aangevoerd energie vraagt om comfortabel te blijven “vecht met de natuur”. Wie optimaal inspeelt op microklimaat en bouwfysische aspecten bouwt een “passiefhuis”. Het resultaat is een aangenaam, gezond binnenklimaat bij een extreem laag energiegebruik.

Bruikbare warmte wordt zo veel mogelijk vast gehouden of terug gewonnen. Gratis zonne energie wordt ingevangen als die in het koude seizoen gewenst is en buiten gehouden als die ’s zomers ongewenst is.

“Houden wat je hebt en zo veel mogelijk gratis erbij krijgen” – zo simpel kan een passief huis in het stookseizoen worden beschreven. En laat u niets wijsmaken: ’s zomerse oververhitting heeft niet voor te komen!

De initiatiefnemers voor de publicatie die u nu begint te lezen verdienen dus alle lof. Er moet veel meer passief gebouwd worden!

**Chris Zijdeveld,**  
voorzitter PassiefBouwen.nl

*ir. Chris Zijdeveld ontving voor de Gemeente Schiedam o.a. De Nationale Energiebesparings Trofee en was persoonlijk ontvanger van de eerste Nederlandse Zonne energie prijs.*



# Inhoud

<b>H1</b>	Samenvatting	<b>blz.</b> 8
<b>H2</b>	Inleiding	10
<b>H3</b>	Principe van passiefhuis	14
<b>H4</b>	Thermische isolatie	24
<b>H5</b>	Luchtdichting	36
<b>H6</b>	Koudebruggen/details	42
<b>H7</b>	Kozijnen en beglazing	52
<b>H8</b>	Thermisch comfort	58
<b>H9</b>	Ventilatie	68
<b>H10</b>	Installaties verwarming en warm tapwater	74
<b>H11</b>	Huishoudelijke apparaten	84
<b>H12</b>	Trends in Nederland	94
<b>H13</b>	Passiefhuis in de Nederlandse bouwpraktijk	102
<b>H14</b>	Colofon	108



De term passiefhuis staat voor een specifieke bouwstandaard voor woningen met een comfortabel binnenklimaat, gedurende zowel het zomer- als het winterseizoen, met een beperkt verwarmingssysteem en zonder de toepassing van actieve koeling. Dit houdt een zeer goede thermische isolatie en zeer goede lucht-kierdichting van de constructie in, terwijl verzekerd is van een goed binnenklimaat door gebalanceerde ventilatie met hoge mate van warmteterugwinning.

In Europa is de passiefhuis-technologie reeds goed bekend. In Duitsland, Oostenrijk, Zweden, België, Frankrijk en Midden-Europese landen is het passiefhuis succesvol gerealiseerd. In Nederland is er nog geen grootschalige toepassing van dit concept. Het concept leent zich hier echter uitstekend voor.

Het passiefhuis-concept is technisch realiseerbaar met in Nederland gangbare bouwsystemen, zoals tunnelgietbouw, kalkzandsteen draagconstructies en houtskeletbouw. Verbeterde isolatie van gevel, dak en vloer tot isolatieniveau's in de range van  $R_c = 6,5$  tot  $10 \text{ m}^2\text{K/W}$  en meer is mogelijk.

In de studie zijn verkenningen gedaan naar verschillende componenten en blijken oplossingen mogelijk. Een voorbeeld is de ontwikkeling van houtskeletbouw-gevelelementen op basis van I-liggers. Dergelijke elementen sluiten niet alleen aan bij houtskeletbouw-woningen, maar ook bij gietbouw en kalkzandsteen. De gevelafwerking in metselwerk blijft mogelijk. Ook andere oplossingen zijn denkbaar, zoals buitengevelisolatie afgewerkt met plaatmaterialen of buitengevelisolatie met stucwerk.

De installatie van een passiefhuis bestaat uit een goed ventilatiesysteem met warmteterugwinning en een energiezuinig warm tapwater systeem. Het te kiezen systeem voor ruimteverwarming moet op deze twee basiscomponenten aansluiten. De eis aan de ruimteverwarming is dat incidenteel warmte kan worden toegevoerd,

bovenop het basistemperatuurniveau dat ontstaat uit de goede isolatie en de balansventilatie.

Het passiefhuis-concept leidt tot woningen met een energiegebruik dat veel lager is dan bij de huidige epc-eis van 0,8. De benadering van passiefhuis in de PHPP-berekeningsystematiek (Passive House Planning Package) is enigszins afwijkend van de epc-methodiek. Er wordt bij een passiefhuis eerst een grens gesteld aan de energievraag voor ruimteverwarming (maximaal  $15 \text{ kWh/m}^2$ ) en vervolgens een grens aan het totale energiegebruik, uitgedrukt in primaire energie (maximaal  $120 \text{ kWh primair/m}^2$ ). Het is echter niet wenselijk om de eisen aan passiefhuis uit te drukken in een epc-eis overeenkomstig de huidige epc-systematiek, omdat geconstateerd wordt dat het epc-getal de energievraag niet definieert en niet recht evenredig is met primaire energie en  $\text{CO}_2$  reductie bij verschillende energiedragers. Het is voor het verkrijgen van een bouwvergunning voor woning volgens passiefhuis-standaard geen probleem om te voldoen aan de huidige eis van epc = 0,8 of lager. De resulterende epc-score voor passiefhuis-concepten liggen in de range van 0,3 – 0,5, en voldoen daarmee ruimschoots aan de huidige Bouwbesluit-eis.

Nederland heeft een aanbod gestuurde woningmarkt. De bewoner baseert de woningkeuze, uit het soms schaarse aanbod, op aspecten als locatie en uitstraling en is minder geïnteresseerd in de bouwkwaliteit en de exploitatiekosten van de woning. De bewoner is niet bekend met de specificaties van zijn woning, zoals bijvoorbeeld de energetische kwaliteit. Wanneer er een vraaggestuurde markt is, kan er vanuit de bewoners meer vraag naar passiefhuizen ontstaan. De bekendheid met het concept is echter nog zeer beperkt. Aangezien de markt in Nederland aanbod gestuurd is, is het belangrijk met name gemeenten, aanbieders en ontwikkelaars van woningen bekend te maken met het passiefhuis.

# Summary

The term 'Passive House' refers to a construction standard, that aims to reduce the heating needs in housing to a point where conventional heating systems are no longer necessary. This typically implies very good thermal insulation, reduced air leakage of the building envelope, and a good ventilation system based on balanced ventilation with heat recovery.

Passive House technology is well known in Europe. Numerous successful Passive House schemes have been built in Germany, Austria, Sweden, Belgium, France and other Central European countries. There is no large scale implementation in The Netherlands yet, but the concept seems so be suitable for the Dutch market.

The Passive House concept is technically feasible in The Netherlands, using common construction methods, e.g. in situ concrete structure using tunnel-elements, lime stone structure and timber frame. Increasing the insulation levels to U values in the range of 0.15 – 0.10 W/m<sup>2</sup>K can be done.

This study addresses various components and solutions, for example the development of façade, floor and roof elements based on I-shaped timber frame structural components. Such solution is not only suitable for timber frame units, but also for concrete and lime stone structures. Many types of cladding are possible, including brickwork and external insulation with stucco or panelling cladding systems.

The heating and ventilation equipment of a passive house consists of a good ventilation system with heat recovery and a very energy efficient domestic hot water system in the first place. Choosing a space heating system should follow from these. The main requirement is that incidentally heat can be added on top of the comfortable base temperature level of a Passive House.

Passive Houses will have a much smaller energy consumption compared to houses built according to the 2006 Building Regulations (epc = 0.8). Passive House energy calculations using the PHPP-model (Passive House Planning Package) slightly differs from the Dutch EPC calculation. Passive House first limits the energy demand for space heating to 15 kWh/m<sup>2</sup> and then limits the total primary energy consumption to 120 kWh/m<sup>2</sup>. This also includes energy for household appliances.

It is not desirable to express the requirements for a Passive House into a epc-requirement, since the epc figure does not represent the energy demand as such and does not have a linear relation between primary energy and CO<sub>2</sub> for different energy carriers. It should not be a problem to get building permission for a Passive House, since the epc score of a Passive House is in the range of 0.3 – 0.5, which is well below the 2006 requirement of a epc score of 0.8 or lower.

The Dutch housing market is a suppliers market. The buyer can choose from sometimes scarce offers, and location and appearance of a house often prevail above construction quality and running costs of a house. In most cases a buyer does not exactly know the technical specifications, such as the energetic quality. If there was more demand-lead market, potential buyers could be instrumental to the demand to Passive Houses. This does require a wider dissemination of the advantages of the Passive House concept.

Today the main players in the suppliers market to familiarize with the Passive House concept are local authorities, project developers and contractors.



# Passie voor passief

Sinds jaar en dag wonen mensen in woningen. Ooit begonnen in een grot, later in eenvoudige huisjes met enkel muren en een dak en nu in woningen, met ramen, geïsoleerde muren, uitgekiende ventilatievoorzieningen, verwarming voor koude dagen en voorzien van allerlei apparatuur. En dan, over 50 of 100 jaar, hoe wonen we dan?

Jules Verne (1828-1905) is bekend als schrijver die “de toekomst voorspelde”. Hij beschreef in zijn boeken veel zaken die destijds als fantasie werden beschouwd, maar later in een indrukwekkend aantal gevallen werkelijkheid werden. Hij voorzag een reis naar de maan, voorzag langeafstandsreizen in luchtballonnen, hij voorzag de tochten van onderzeeboten onder het poolijs. Hoe we over 100 jaar wonen? Helaas, ik ben geen en ken geen toekomstvoorspeller.

De wetenschap is er inmiddels zo goed als zeker van dat wij het klimaat merkbaar beïnvloeden door de uitstoot van broeikasgassen. Bij gebruik van energie komt kooldioxide (CO<sub>2</sub>) vrij, wat de belangrijkste oorzaak is van deze broeikasproblematiek. Nederland maakt zich sterk om klimaatverandering zoveel mogelijk tegen te gaan. Onderdeel hiervan is energietransitie. Marktpartijen, maatschappelijke organisaties en de overheid werken samen aan de energietransitie. De energietransitie zorgt binnen 50 jaar voor een duurzame energievoorziening. Energie is schoon, voor iedereen betaalbaar en beschikbaar waar en wanneer nodig.

In hoeverre zijn deze doelstelling van toepassing op een passiefhuis? Te beginnen met de laatste twee termen, waar en wanneer nodig. Door maximale vraagbeperking is een passiefhuis dermate energiezuinig, dat daarenergie maar beperkt nodig is. Betaalbaar? Door de vergaande vraagbeperking is het energiegebruik in deze woning zeer laag. Ondanks eventuele hoge energieprijzen, zullen de kosten voor dit beperkte energiegebruik, betaalbaar blijven. Schone energie? Een passiefhuis maakt optimaal gebruik van schone zonne-energie. Een flinke stap in de richting van een volledig energieneutrale woning wordt gezet met het passiefhuis-concept.

Door klimaatveranderingen tegen te gaan, willen we de toekomst voor onze kinderen veilig stellen, een toekomst die goed is. Woningen blijven lang staan. De huizen die nu worden gebouwd, kunnen er ook nog staan over 50 of 100 jaar. Over 50 of 100 jaar, hoe wonen we dan? Misschien wel in huizen die we nu bouwen! Het zou mooi zijn als de woningen die nu worden gerealiseerd, een steentje bijdragen aan die mooie toekomst. Hoe dat zou kunnen? Door met passie passief te bouwen!

## Ragna Clocquet DHV BV

## 2.1 Aanleiding

Met de invoering van de energie prestatie coëfficiënt (epc) in Nederland, heeft energiebesparing in woningen een vlucht genomen. Begon de epc-eis in 1996 op een niveau van 1,4, sinds 2006 is een epc-eis van 0,8 van kracht. Er zijn vele manieren om in woningen energie te besparen. Bijvoorbeeld door het toepassen van geavanceerde energie-efficiënte technieken. Een andere benadering is juist het optimaliseren van de bouwkundige elementen en het maximaal benutten van passieve energie. Door invulling te geven aan het passiefhuis-concept, zoals in deze publicatie wordt beschreven, is het bovendien mogelijk om nog een stap verder te gaan in energiebesparing.

De term passiefhuis staat voor een specifieke bouwstandaard voor woningen met een comfortabel binnenklimaat, gedurende zowel het zomer- als het winterseizoen, met een beperkt verwarmingssysteem en zonder de toepassing van actieve koeling. Dit houdt een zeer goede thermische isolatie en zeer goede lucht-/kierdichting van de constructie in, terwijl verzekerd is van een goed binnenklimaat door gebalanceerde ventilatie met hoge mate van warmte terugwinning.

In Europa is de passiefhuis-technologie reeds goed bekend. In Duitsland, Oostenrijk, Zweden, België, Frankrijk en Midden-Europese landen is het passiefhuis succesvol gerealiseerd. In Nederland is er echter nog geen grootschalige toepassing van dit concept. Het concept leent zich hier echter uitstekend voor.

Door Rockwool Benelux en DHV is in 2005 en 2006 een ronde tafelconferentie rond passiefhuis georganiseerd. Er zijn knelpunten gesignaleerd die grootschalige toepassing van het passiefhuis-concept belemmeren. Naar aanleiding hiervan is onderzoek uitgevoerd om de gesignaleerde knelpunten op te lossen én om oplossingen aan te dragen om grootschalige toepassing van het passiefhuis-concept mogelijk te maken, gericht op de Nederlandse seriematige woningbouw. Voor de

Nederlandse woningbouwtraditie is de haalbaarheid beoordeeld van integrale bouwconcepten gebaseerd op passieve zonne-energie (passiefhuis-concept) die leiden tot extreem energiezuinige woningen. De beoordelingscriteria omvatten o.a.: techniek en uitvoerbaarheid, economie, markt en regelgeving.

## 2.2 Hoofdozet van deze publicatie

Deze publicatie gaat in op aspecten die een rol spelen bij het ontwikkelen van passiefhuizen. Informatie die specifiek geldt voor de verschillende constructie principes, tunnelgietbouw, houtskeletbouw en kalkzandsteen is opgenomen in specifieke gekleurde tekstblokken, aangeduid met bijbehorende iconen. De volgende kleur en iconen zijn hierbij gehanteerd:



Aan bod komen bijvoorbeeld details op basis van tunnelgietbouw of opbouw van gevels bij houtskeletbouw.

De inhoudsopgave laat zien, dat bij de opzet van deze publicatie is gekozen voor een themagewijze benadering van specifieke eigenschappen van passiefhuizen. De themagewijze benadering sluit aan op de behoefte van de bouwpraktijk, maar brengt het gevaar met zich mee, dat de kwaliteit van een passiefhuis te veel vanuit een specifieke invalshoek wordt benaderd. Uiteraard kan een kwalitatief hoogwaardig passiefhuis alleen worden gerealiseerd door alle aspecten gelijktijdig en gelijkwaardig af te wegen. De vereiste integrale aanpak komt ook voort uit de samenhang van de kwaliteitsaspecten.

## 2.3 Leeswijzer

Deze publicatie bevat negen overwegend technische hoofdstukken. Deze hoofdstukken betreffen aspecten die specifiek voor passiefhuizen van belang zijn:

- Hst 3: Principe van passiefhuis
- Hst 4: Thermische isolatie
- Hst 5: Koudebruggen/details
- Hst 6: Luchtdichting
- Hst 7: Kozijnen en beglazing
- Hst 8: Thermisch comfort
- Hst 9: Ventilatie
- Hst 10: Installaties verwarming en warm tapwater
- Hst 11: Huishoudelijke apparaten

Hoofdstuk 12 gaat in op trends in Nederland met betrekking tot de onderwerpen markt, economie en regelgeving.

Elk hoofdstuk heeft een gelaagde opbouw (van grof naar fijn) en bevat, na een korte introductie doorgaans drie delen:

- Inleiding.
- Richtlijnen: Ingegaan wordt op de huidige Nederlandse regelgeving. Eisen van het Bouwbesluit zijn onverkort van toepassing op en vormen het vertrekpunt van het passiefhuis-concept. Bijrichtlijnen voor een passiefhuis worden criteria genoemd voor het passiefhuis-concept. Om te kunnen voldoen aan de criteria van het passiefhuis-concept, zijn aanvullende maatregelen nodig. Deze maatregelen kunnen per project verschillen.
- Uitwerking: Bij uitwerking wordt ingegaan op aanvullende oplossingen/maatregelen die kunnen of moeten worden getroffen om te voldoen aan de passiefhuis-criteria.

Ook worden voorbeelden gegeven hoe invulling kan worden gegeven aan de specifieke kenmerken van passiefhuizen.

Speciale aandacht wordt gevraagd voor de titelpagina's van de hoofdstukken. Hierop zijn, naast een korte introductie van het onderwerp, visies vermeld van spelers op de markt met betrekking tot de ontwikkeling van passiefhuizen in Nederland.

De titelpagina's zijn mede bestemd voor opdrachtgevers en (andere) beslissers, die een indruk willen krijgen van de inhoud.

De inleiding is vooral bedoeld voor opdrachtgevers, beleggers, projectontwikkelaars, ontwerpers, toetsende instanties en andere partijen die een eerste en globaal inzicht willen krijgen.

Het deel richtlijnen is van belang voor partijen die behoefte hebben aan concrete ontwerprandvoorwaarden, bijvoorbeeld bij het opstellen van een programma van eisen. Het deel uitwerking is vooral bruikbaar bij de verdere uitwerking van het programma van eisen, bijvoorbeeld door architecten of adviseurs.

In de hoofdstukken 3 tot en met 11 worden passiefhuizen telkens vanuit een specifieke invalshoek belicht. Hoofdstuk 12 zet de ontwikkeling van passiefhuizen af tegen de Nederlandse ontwikkelingen aangaande markt, economie en regelgeving.

Tenslotte komen in het laatste hoofdstuk de conclusies ten aanzien van de haalbaarheid van het passiefhuis-concept in de Nederlandse bouwpraktijk aan bod.



# Passiefhuis

Vooraf in de bouwwereld zie je vaker dat een klein groepje mensen (idealisten) of enkele bedrijven (koplopers) intensief bezig zijn met het promoten van een nieuw product of methodiek. We hebben dat bijvoorbeeld gezien bij de ontwikkeling en introductie van de HR-ketel. Of later de hele ontwikkeling rondom HR-glas. Jarenlang zit er geen schot in de vooruitgang en dan, plots vallen alle delen van de puzzel in elkaar. Het product veroverd de markt. Een dergelijke ontwikkeling meen ik te herkennen bij de ontwikkelingen rondom het passiefhuis: het energiezuinige huis van morgen. Ofschoon dit type huis in het buitenland al bijna standaard wordt gebouwd is in Nederland het passiefhuis jarenlang het zorgenkindje geweest van enkele idealisten en volhouders. Hun inzet is beloond, want de puzzelstukjes van het passiefhuis gaan in elkaar vallen.

Gerugsteund door de aanscherping van de energieprestatiecoëfficiënt (epc) is de zoektocht naar energiezuinige concepten voor woningen doorgezet. Bij de komst van de epc-eis van 1,0 en zeker 0,8 in 2006 heeft men steeds meer de oplossing om energie te besparen gezocht in het verder doorontwikkelen van technische installaties. Maar men begint hier tegen een natuurlijke grens op te lopen van complexiteit van installaties en installatiekosten, acceptatiegrens van steeds meer techniek en gezondheidsaspecten.

Daarnaast zien we dat comfort en veiligheid van de woning een steeds belangrijker rol gaat spelen. Al deze puzzeldelen vallen nu met de introductie van het passiefhuis-concept mooi in elkaar. Het passiefhuis heeft het in zich om de oplossing te bieden voor een aantal vraagstukken, waarvoor de huidige woningbouwconcepten zich nu gesteld zien. Daarnaast zien we dat een aantal ondernemers, waaronder niet de kleinsten, zich bij elkaar heeft gepakt om dit nieuwe concept echt te gaan toepassen. Voeg daarbij een kleine financiële ondersteuning, die de overheid biedt door middel van het EOS- subsidieprogramma anno 2006, en zie daar het kantelpunt is nabij.

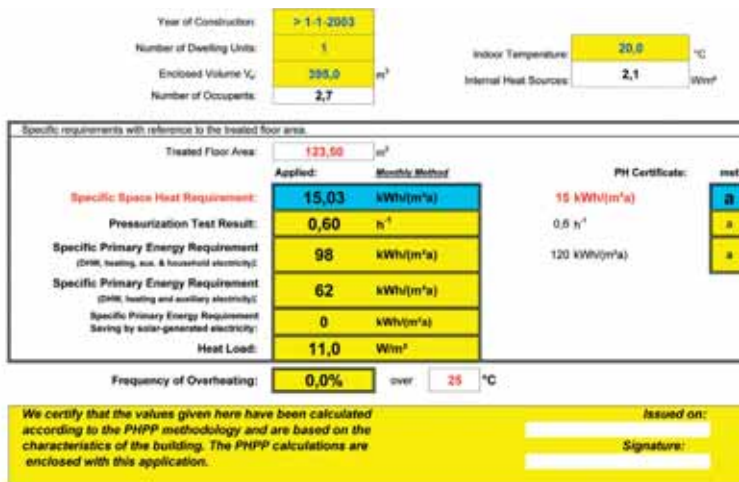
In 2006 zullen enkele demonstratieprojecten de bekendheid van het passiefhuis bevorderen. Deze grotere bekendheid zal zeker het begin markeren van een actieve, duurzame toekomst voor het passiefhuis.

## Piet Heijnen SenterNovem



## 3.1 Inleiding

De term passiefhuis staat voor een specifieke bouwstandaard voor woningen met een comfortabel binnenklimaat, gedurende zowel het zomer- als het winterseizoen, met een beperkt verwarmingssysteem en zonder de toepassing van actieve koeling. Een passiefhuis heeft een hoge mate van thermische isolatie met een thermisch onderbroken constructie, goede kierdichting en maakt gebruik van passieve zonne-energie. Een goed binnenklimaat is verzekerd door gebalanceerde ventilatie met hoge mate van warmte terugwinning. Hernieuwbare energiebronnen kunnen aangewend worden om in de resterende energievraag te voorzien, waarmee een energieneutrale woning kan worden gerealiseerd.



Figuur 1: Resultaten PHPP rekenmodel.



Figuur 2: Kyoto Piramide, passiefhuis ontwerpproces (geïnspireerd op Sintef, Noorwegen).

## 3.2 Richtlijnen

### Algemene richtlijnen

De huidige bouwregelgeving gaat uit van een energie prestatie coëfficiënt (epc) van 0,8. Dit resulteert voor een eengezinstussenwoning in een energiegebruik van ca:

- 971 m³ voor verwarming en tapwater .
- 1796 kWh elektriciteit (4425 kWh;prim) voor hulpenergie, ventilatoren en verlichting.
- Het totale elektriciteitsverbruik bedraagt 4275 kWh (zie hst 11).
- Dit komt overeen met een energievraag voor ruimteverwarming van ca. 60 kWh/m², een primaire energievraag van 158 kWh/m² en een CO<sub>2</sub>-uitstoot van 2621 kg CO<sub>2</sub>.

### Richtlijnen passiefhuis

De richtlijnen voor een passiefhuis zijn:

- de totale energievraag voor ruimteverwarming en koeling is maximaal 15 kWh/m² gebruiksoppervlak;
- de totale primaire energiebehoefte voor alle apparaten, warm tapwater en ruimteverwarming en -koeling is maximaal 120 kWh/m² gebruiksoppervlak.

Deze eisen gelden voor een passiefhuis, gelegen op 40 tot 60 graden noorderbreedte, volgens condities zoals beschreven in het PHPP-rekenmodel. PHPP staat voor Passivhaus Projektierungs Paket en is een rekenmethode, speciaal ontwikkeld voor het doorrekenen van passiefhuizen. Op basis van de definitie van passiefhuis is de ontwerp-verwarmingscapaciteit beperkt tot de capaciteit die door de minimaal vereiste hoeveelheid ventilatielucht gedragen kan worden. Echter, de daadwerkelijke ruimteverwarming hoeft niet middels het ventilatiesysteem plaats te vinden.



### 3.3 Uitwerking

Om te kunnen voldoen aan genoemde richtlijnen, moet gedurende het gehele traject aandacht worden besteed aan de principes van het passiefhuis-concept. Het passiefhuis-concept kan zowel worden toegepast op nieuwbouw als bestaande bouw. Ook alle typen woningen zijn in principe geschikt, van vrijstaande woningen tot rijtjeswoningen tot gestapelde bouw. Er zijn meerdere oplossingen mogelijk, afhankelijk van bouwwijze en ontwerp. Per project moet invulling worden gegeven aan de specifieke aspecten van het passiefhuis-concept en moeten de oplossingen worden bepaald. Met behulp van rekenmethode PHPP moet worden aangetoond dat aan de gestelde criteria wordt voldaan. Voortunnelgietbouw en houtskeletbouw wordt in dit hoofdstuk aangegeven hoe het passiefhuis-concept kan worden toegepast.

De eisen worden zowel gesteld aan de vraagzijde (maximaal 15 kWh/m<sup>2</sup>) als aan de aanbodzijde (maximaal 120 kWh/m<sup>2</sup>). Dit is een andere benadering dan de epc-methodiek, die alleen uitgaat van het uiteindelijke resultaat aan de aanbodzijde (waarmee een te hoge energievraag gecompenseerd kan worden door een betere en efficiëntere installatie). Bij passiefhuizen kan dit dus niet, zowel de vraagzijde wordt geoptimaliseerd als de aanbodzijde. De Kyoto Piramide wordt gehanteerd als ontwerpproces, zie figuur 2.

Als voorbeeld kan gedacht worden aan minimaal de volgende maatregelen:

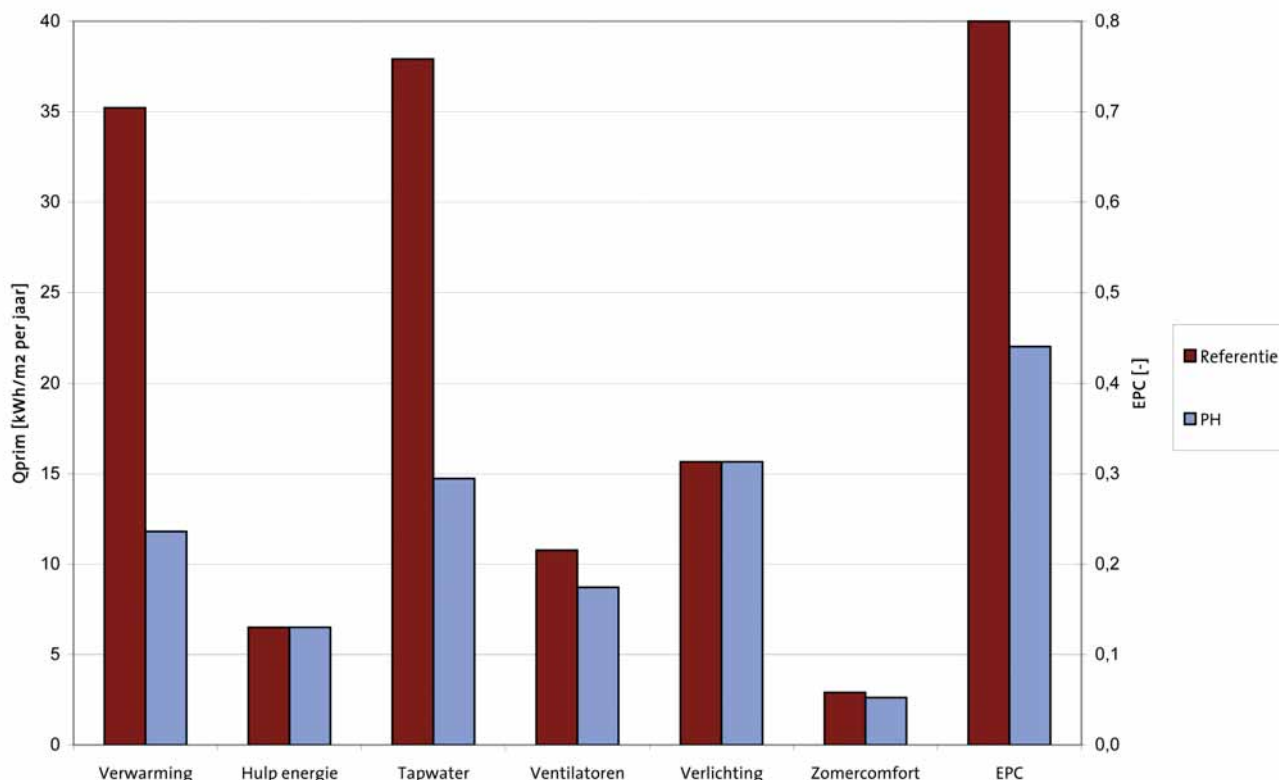
#### *Bouwkundig:*

- Passieve zonne-energie en voorzieningen ter voorkoming van temperatuuroverschrijdingen in de zomer.
- Warmteweerstand begane grondvloer, gesloten geveldelen en dak  $R_c$  ca. 10 m<sup>2</sup>.K/W.
- Drieduidige beglazing, HR+++-glas met  $U_{\leq 0,8}$  W/m<sup>2</sup>.K en passiefhuis-kozijnen.
- Thermisch geïsoleerde deur.
- Geen koudebruggen.
- Extreme luchtdichting.

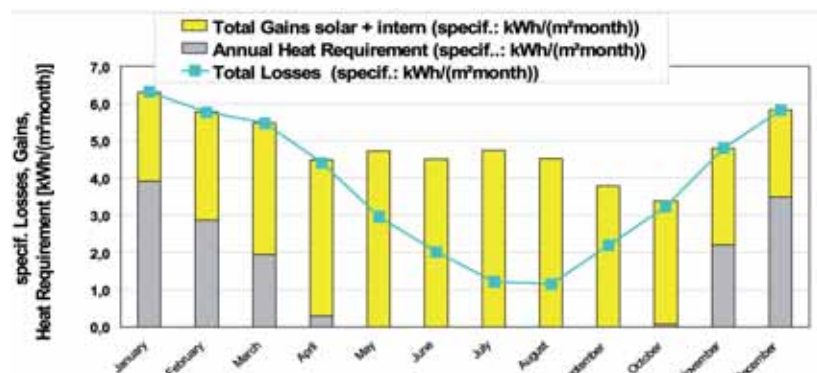
#### *Installatietechnisch:*

- Gebalanceerde ventilatie met hoogrendement warmteterugwinning (HR-WTW), energiezuinige ventilatoren en geïsoleerde ventilatiekanalen.
- Beperkte installatie voor ruimteverwarming met geringe capaciteit.
- Zonneboilerinstallatie en geïsoleerde warm waterleidingen.
- Waterbesparende maatregelen en een warmwateraansluiting voor een vaatwasmachine (en wasmachine).
- Energiezuinige verlichting en huishoudelijke apparatuur (energielabels): 50% reductie t.o.v. common practice.
- Een gebruikershandleiding.

## Primair energiegebruik

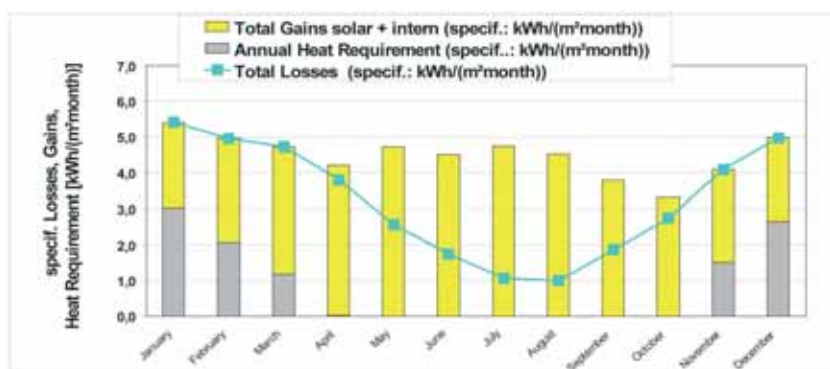


Figuur 3: Primair energieverbruik van een referentiewoning epc 0,8 (eengezinstussenwoning) en een passiefhuis (PH) volgens epc- methodiek.



Figuur 4: Energiebalans per maand van de **eindwoning**, berekend met het PHPP rekenmethodiek.

De totale warmtevraag voor verwarming (Annual Heat Requirement, weergegeven in grijs) bedraagt in deze berekening in totaal 15,0 kWh/m<sup>2</sup>.



Figuur 5: Energiebalans per maand van de **tussenwoning**, berekend met het PHPP rekenmethodiek.

De totale warmtevraag voor verwarming (Annual Heat Requirement, weergegeven in grijs) bedraagt in deze berekening in totaal 10,7 kWh/m<sup>2</sup>.

## Energie

De belangrijkste eis van een passiefhuis richt zich op het energiegebruik. Figuur 3 geeft een overzicht van de belangrijkste energiegebruiken van een referentiewoning met een epc 0,8 en een woning volgens de passiefhuis-criteria, bepaald met de epc-methodiek. De referentie is gebaseerd op de SenterNovem referentiewoningen, type eengezinstussenwoning.

## Warmtevraag volgens PHPP

In PHPP zijn berekening gemaakt van een passiefhuis, zowel van een eind- als tussenwoning. Met dezelfde bouwkundige opbouw scoort de tussenwoning beter dan de eindwoning door het kleinere verliesoppervlak. De warmtevraag van de tussenwoning bedraagt 10,7 kWh/m<sup>2</sup>, tegen 15,0 kWh/m<sup>2</sup> bij de eindwoning. Bij het ontwerpen van een tussenwoning kan er in principe voor gekozen worden minder isolatie toe te passen of glasoppervlakken te wijzigen tot aan een warmtevraag van 15 kWh/m<sup>2</sup>. In de figuren 4 en 5 zijn in grafieken de energiebalans weergegeven per maand, voor de eind- en tussenwoning.



### Oriëntatie

Om maximale warmtewinsten door zoninstraling te bereiken, dient een passiefhuis zuid georiënteerd te worden. In geval van de SenterNovem referentiewoning betekent dit dat de tuingevel zuid georiënteerd moet zijn.

In de volgende tabel is de invloed weergegeven op de warmtevraag voor vier verschillende oriëntaties, voor zowel de eind- als tussenwoning. De oriëntatie is van grote invloed op de warmtevraag van de woning. Echter, ook bij een minder gunstige oriëntatie voldoet de tussenwoning nog steeds aan de passiefhuis-richtlijn voor maximale warmtevraag.

**Tabel 1: Warmtevraag van een eind- en tussenwoning met verschillende zon oriëntaties berekend met PHPP.**

Oriëntatie tuinzijde	Warmtevraag voor verwarming in kWh/m <sup>2</sup>	
	Eindwoning	Tussenwoning
Zuid	15,0	10,7
Noord	17,6	12,7
West	17,7	12,9
Oost	17,1	12,4

### Passiefhuizen en bouwsystemen: voorkomen van bouwvocht

Tijdens de bouwfase van een woning ontstaat bouwvocht. Bij een combinatie van verwarmen en (geforceerd) ventileren duurt dit afvoeren van bouwvocht minstens 2 stookseizoenen en kost meer energie (tot 30% meer warmtevraag). Soms betekent het zelfs dat de woning in de eerste periode na de oplevering onvoldoende kan worden opgewarmd doordat het verdampen van het bouwvocht teveel energie aan de woning onttrekt.

Bij passiefhuizen is het verwarmingscapaciteit gering. Het bestrijden van bouwvocht is daarom noodzakelijk (of voor oplevering droogstoken). Bepaalde bouwsystemen lenen zich beter voor het beperken van bouwvocht, waaronder houtskeletbouw (HSB).

### Passiefhuis en verder

De resultaten van het passiefhuis laten zien dat het energiegebruik ten opzichte van de huidige Nederlandse standaard (epc 0,8) nog sterk kan verminderen.

Een passiefhuis is ook een grote stap in de richting van een nulenergiewoning. In combinatie met duurzame energie is een passiefhuis de basis voor energieneutraal bouwen. Bij toepassing op grotere schaal, ontstaat een energieneutrale wijk: het dusdanig bouwen en renoveren van woningen binnen een Nederlandse wijk, dat op jaarbasis in de energiebehoefte voor verwarming, koeling, productie van warm water en elektriciteit, geheel door duurzame bronnen van binnen de wijk kan worden voorzien.

Grootschalige toepassing van het passiefhuis-concept heeft betekenis voor de uitleg van nieuwe energie-infrastructuur. De energievraag van woningen beperkt zich in hoofdlijn tot warm tapwater en elektriciteit. Beide vragen zijn in principe constant en lenen zich voor nieuwe combinaties en duurzame oplossingen voor de energievoorziening.



### Passiefhuis en bouwmethode

Onderstaand wordt voor tunnelgietbouw en houtskeletbouw uitgewerkt hoe passiefhuizen in deze bouwmethoden kunnen worden uitgevoerd.



### Passiefhuizen uitgevoerd in tunnelgietbouw

Als basis voor het ontwikkelen van passiefhuizen in tunnelgietbouw is uitgegaan van de gietbouwmethode zoals gehanteerd binnen het W&R concept van BAM Woningbouw. Begin jaren negentig heeft BAM haar ruime ervaring in de woningbouwmarkt aangewend voor de ontwikkeling van een innovatief, efficiënt bouwproces: het W&R-concept. Dit concept is gericht op de ontwikkeling van woningen met een optimale prijs/kwaliteitsverhouding. Op basis van een aantal uitgangspunten kunnen uiteenlopende typen woningen gerealiseerd worden tegen zeer concurrerende prijzen; woningen die variëren van rijwoningen tot twee-onder-een-kapwoningen en appartementen. BAM heeft dit concept al veelvuldig toegepast.

Met W&R kan worden ingespeeld op uiteenlopende woonwensen en eisen van opdrachtgevers en consumenten. Het W&R-concept staat voor flexibiliteit, ondanks de vaste uitgangspunten. W&R biedt alle ruimte aan stedenbouwkundigen en architecten. Het concept kan op vele manieren worden uitgewerkt. Door toepassing van diverse gevelmaterialen en -indelingen, op- en aanbouwen, dakvormen en bouwlagen ontstaat een keur aan verschijningsvormen. Diverse gerenommeerde architecten hebben reeds met W&R gewerkt en uiteenlopende, eigentijdse en bovenal marktconforme ontwerpen gecreëerd.

W&R is een innovatief proces dat gebaseerd is op vijf principes.

1. Ontwikkeling vanuit een referentiewoning die volledig is uitgewerkt. Bij de ontwikkeling, voorbereiding en uitvoering ligt de focus op het beheersen van de afwijkingen.

2. Een optimaal bouwproces met per deel een proceseigenaar die verantwoordelijk is voor een foutloze uitvoering en overdracht.
3. Continuïteit door het bouwstroom-principe; als een mobiele fabriek worden de projecten op diverse locaties, in samenhang met elkaar, seriematig gerealiseerd.
4. Co-making, staat voor samenwerken met vaste gespecialiseerde onderaannemers; specifieke kennis wordt zodoende optimaal benut.
5. Klantgerichtheid. Bouwen voor de klant is bouwen voor de opdrachtgever maar zeker ook voor de woonconsument.

De referentiewoning volgens dit concept is aangepast aan de huidige epc-eis van 0,8. In deze publicatie zijn de oplossingen gegeven waarmee dit referentietype kan worden uitgevoerd als passiefhuis. Ook zijn mogelijke installaties voor passiefhuizen geïnventariseerd.

### Passiefhuizen uitgevoerd in houtskeletbouw



Vaak wordt een passiefhuis uitgevoerd in houtskeletbouw. Dit is niet noodzakelijkerwijs overal de beste oplossing, maar biedt vaak voordelen, die hieronder zijn weergegeven [Bron: de Koevoet, lente 2003, artikel 'Op weg naar Passief Huis 3'].

#### Korte bouwtijd

De wandelementen van de houtskeletbouw-woningen worden geprefab gemaakt onder geklimatiseerde omstandigheden. Ook de nauwkeurigheid heeft men perfect onder controle. In een bouw pakket wordt alles op de bouwplaats afgeleverd en wordt het geheel gemonteerd. Een gemiddelde woning kan in een tijdsbestek van 1 à 2 dagen wind en regendicht worden gemonteerd. Verhardingstijden komen niet voor en de bouw ondervindt weinig last van regen en vorst. Er gaat dus nagenoeg geen tijd verloren aan weerverlet. Afspraken omtrent de oplevering van een woning vormen bijgevolg geen probleem. Interessant is dat in prille ruwbouw fase (wind- en regendicht) reeds kan worden gestart met binnenaafwerking, ongeacht de weersomstandigheden.



Floriande, Hoofdorp



Vosholen, Hoogezand



Waal sprong, Nijmegen

Figuur 6: voorbeelden van W&R woningen



### **Droge bouwmethode**

De toegepaste bouwwijze is eveneens een droog procédé. Dit betekent dat nagenoeg geen water wordt gebruikt tijdens de constructie. Gemiddeld wordt voor een traditioneel gebouwde woning 6000 liter water gebruikt voor de constructie en afwerking ervan (beton, pleister e.d.). Al dit water dient op natuurlijke wijze door uitharding en verdamping wordt afgevoerd. Dit betekent veel tijd. De eindafwerking kan ook niet plaatsvinden indien de wanden niet absoluut droog zijn. Men stelt dat een traditioneel gebouwde woning gedurende 1 jaar moet 'droogstoken'. Een houtskeletbouw-woning kan in 6 maanden worden afgewerkt, inclusief schilderwerk.

### **Eenvoudige opbouw, lichte constructie**

Een snelle montage beperkt tevens de overgangperiode waarin de bouwer een dubbele financiële last draagt, namelijk het huurgeld van zijn huidige woning alsook de eerste afbetalingen van een woonkrediet. Een houtskeletbouw-woning kan tot vier keer lichter zijn dan een traditioneel gebouwde woning. Bij terreinen met onvoldoende draagkrachtige grond kan dit een belangrijk voordeel zijn. Deze lichte bouwmethode geeft nieuwe mogelijkheden zoals het aanbrengen van extra woonlagen op bestaande gebouwen.

### **Voorbeeldhoutskeletbouw, woning Heusden Destelbergen**

In Heusden Destelbergen, België is een passiefhuis gerealiseerd in houtskeletbouw. Hieronder het verhaal, gebaseerd op de volgende bronnen:

- De Koevoet, lente 2003, artikel 'Op weg naar Passief Huis 3.'
- De Koevoet, winter 2003, artikel: 'Koudebruggen opblazen en thermische isolatie'.
- Passiefhuisplatform België: Living Today Brochure.

Opgemerkt wordt dat de bouwwijze in België niet geheel overeenkomt met de Nederlandse bouwtraditie. Het voorbeeld is desalniettemin interessant, vanwege de problemen en oplossingen die beschreven worden.

De structuur van de dragende wanden bestaat uit een onder- en bovenregel, onderling verbonden door genagelde verticale stijlen. De stijlen worden geplaatst met hun grootste afmeting loodrecht op de richting van de wand. De stukken zijn geschaafd om in latere fase een vlakke afwerking te kunnen verzekeren. Ten behoeve van stabiliteit, uitvoeringsgemak of bekledingsondersteuning is het aantal stijlen verdubbeld ter hoogte van hoeken en daar waar wandelementen loodrecht op elkaar staan. De hulpstijlen worden bevestigd aan de belendende stijlen.

De houtskeletbouw-structuur van de straat- en tuingevel is dubbel uitgevoerd en zo voorzien van een integrale doorlopende thermische isolatielaag. Door de vloer- en dakliggers evenwijdig te plaatsen met de straat- en tuingevel, worden deze gevels in belangrijke mate ontlast en kan het grote zuilgeoriënteerde raam zonder al te zware- koudebrug veroorzakende - lateien worden geconstrueerd. De moeilijker aan te sluiten vloerbalken worden hierdoor gescheiden van de vrijstaande gevels en luchtdicht verzekerd aan de zijde van de scheidingsmuren (metselwerk) op de perceelsgrens. Deze werkwijze laat toe om de isolatie aan te brengen nadat de structuur is opgetrokken (enkel mogelijk bij houtskelet). Dit biedt de mogelijkheid in te spelen op een regenachtig klimaat.

De elementen voor de vloeren van de verdieping worden op de wanden van de ondergelegen bouwlaag gelegd. Deze vloerelementen vormen een werkplatform voor het plaatsen van de volgende laag. Voordeel hiervan is dat de naden tussen de wand en vloerelementen worden dichtgedrukt. De stabiliteit tegen verticale krachten wordt verkregen met de dragende buiten- en binnenwanden. De stabiliteit tegen horizontale belastingen wordt verkregen door de buiten- en binnenmuren die loodrecht op elkaar staan en die opgebouwd zijn uit stijve panelen. De stijfheid van de wanden wordt verzekerd door een beschieting met OSB-platen. De verbinding van de schijfvormige



Figuur 7: Gegoten funderingsrand met verankeringspunten; vulblokjes onder stelregel; dubbele gevelopbouw.



Figuur 8: Foto's van de bouw van de woning in Heusden Destelbergen



wanden door middel van koppelregels en vloerrandbalken resulteert in een samenhangend geheel per bouwlaag. De totale stabiliteit wordt ontleend aan de schijf- en windverbandwerking van dak en vloeren.

Om het plaatsen van grote isolatiediktes gemakkelijk te maken is een 'doos in doos' principe toegepast. In een eerste fase worden de buitenwanden, het dak en de ramen geplaatst. Op dit moment is de woning reeds volledig regen- en winddicht. Vervolgens wordt de isolatie aangebracht (minerale wol: 33 cm in de muur, 49 cm in het dak en 26 cm in de vloer). De isolatie kan dus perfect en droog geplaatst worden zonder invloed van de weersomstandigheden.



Bij openingen in buitenwanden worden bovenliggende verticale belastingen opgevangen d.m.v. een lateiconstructie. De uiteinden van de latei worden ondersteund door middel van de hulpstijlen aan weerszijden van de openingen. De gelijkvloerse ramen reiken tot plafondhoogte wat extra hulpstijlen overbodig maakt en bovendien zorgt voor extra diepe toetreding van daglicht.

Zowel in de buiten- en binnenmuren als in het plat dak is gebruik gemaakt van minerale wolplaten. De half stijve platen laten zich makkelijk versnijden en inpassen binnen houtskeletbouw-structuren. Stijve schuimplaten inwerken tussen stijlen regelwerk of spanten zou veel moeilijker zijn. Om het isoleren van de spouwholte tussen de eigen draagstructuur en de bestaande metselwerkmuren op de perceelsgrens zo makkelijk mogelijk te maken en de breedteverschillen te kunnen opvangen, is geopteerd voor een isolatie in bulk. De vermiculiet korrels zijn gesiliconiseerd voor een goed vochtgedrag.



Figuur 9: Foto's: woning Heusden-Destelbergen.

## Passiefhuizen uitgevoerd in kalkzandsteen

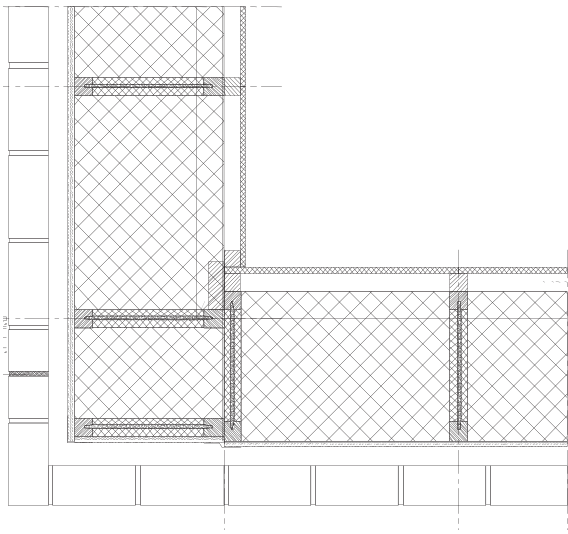


Behalve in tunnelgietbouw en houtskeletbouw, kan een passiefhuis eveneens worden uitgevoerd in kalkzandsteen. Met Calduran Kalkzandsteen bv is overleg gevoerd met betrekking tot het uitvoeren van een passiefhuis in kalkzandsteen. Calduran Kalkzandsteen produceert en levert een compleet assortiment kalkzandsteenproducten voor dragende en niet dragende wanden voor de professionele bouw.

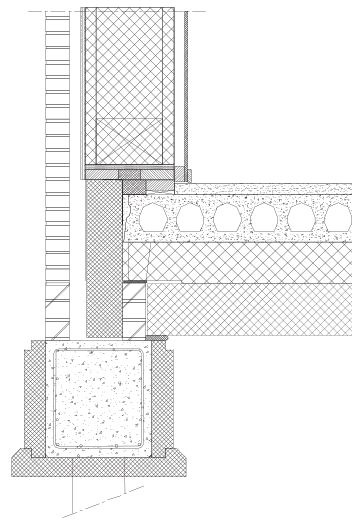
Calduran heeft aangegeven dat de SBR-comfortdetails, met betrekking tot kalkzandsteen binnenspouwblad, relatief eenvoudig kunnen worden aangepast. De isolatie kan eenvoudigweg groter worden gekozen. Dit heeft wel als resultaat dat de totale wanddikte groter wordt. De funderingsbalk dient geïsoleerd te worden.

Als alternatief zouden massieve bouwmuren van kalkzandsteen gecombineerd kunnen worden met prefab houten gevelelementen. De stabiliteit van het woningblok dient dan verzorgd te worden door de stijve knopen (inklemming vloeren/wanden). De luchtdichtheid wordt gegarandeerd door de wandafwerking. Dit is ook nodig vanwege geluidsisolatie. De kozijndetaillering is niet anders dan bij gietbouw.

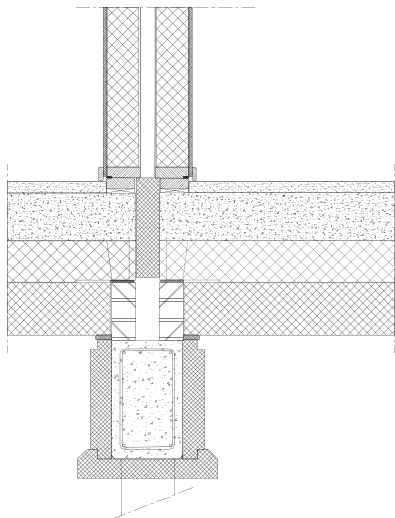
Bron detaillering: vdm  
Constructieopbouw houtskeletbouw



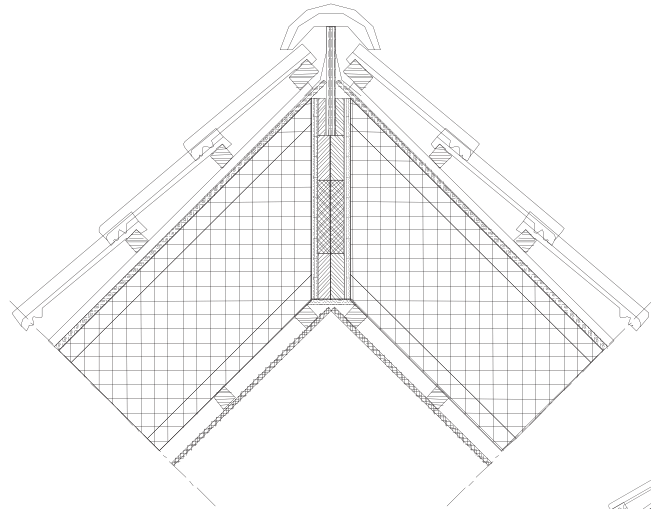
Figuur 10: Detail gevel hoekdetail houtskeletbouw.



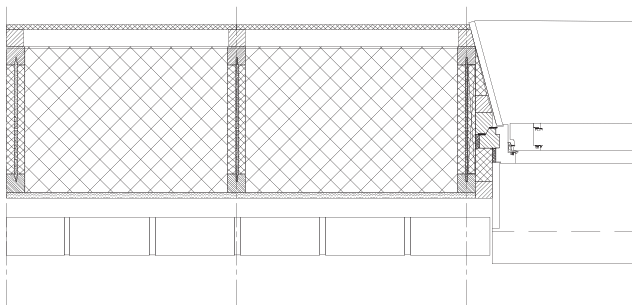
Figuur 11: Begane grondvloer - fundering - gevel.



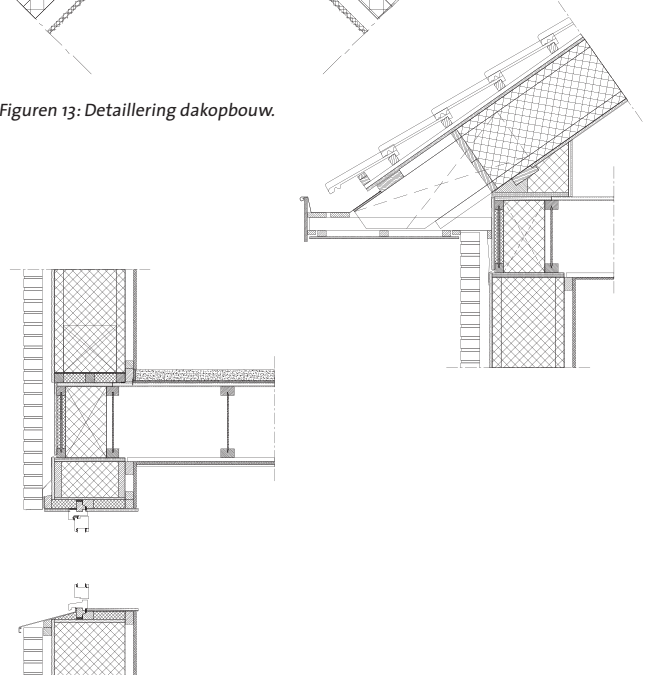
Figuur 12: Detail woningscheidende wand – fundering - gevel.



Figuren 13: Detaillering dakopbouw.



Figuur 14: Details aansluiting gevel - kozijn.







# Thermische isolatie

Wie kent de vakantieplaatjes niet: een rustig dorpje in Zuid Frankrijk of Italië rond het middaguur. Lege straatjes en alle woningen met de luiken dicht. Buiten is het ruim 30°C, binnen is het heerlijk koel. In deze landen kennen ze het volgende principe al jaren: zorg dat de warmte niet binnen komt.

Om onverklaarbare redenen wordt er in Nederland vaak een relatie gelegd tussen zwaar isoleren en oververhitting gedurende de zomer. Dit is ook meteen één van de vooroordelen die bestaan over een passiefhuis.

Het moge ondertussen duidelijk zijn dat oververhitting en isolatie niets met elkaar te maken hebben. Het omgekeerde is juist het geval; een goed isolatiepakket zal de warmte juist buiten houden. Dan moet men natuurlijk wel zorgen dat de warmte niet op een andere manier binnen komt. Daarom is het gebruik van zonwering en bijvoorbeeld overstekken zo belangrijk. Hiermee wordt voorkomen dat overdag de warmte via de ramen binnenkomt.

Een andere eigenschap die traditionele huizen rondom de Middellandse Zee hebben, is dat ze zwaar gebouwd zijn. Deze dikke muren werken als een buffer, waarin de warmte wordt opgeslagen. In de zomer zullen deze muren pas tegen de avond de warmte beginnen af te geven aan het binnenklimaat. Dan is het buiten al weer afgekoeld en kunnen de ramen en luiken weer open. Op deze manier krijgt men een constante behaaglijke temperatuur in huis, zonder dat er oververhitting optreedt. Een airconditioning zal men niet tegenkomen in deze woningen.

Deze eigenschappen worden ook toegepast in een passiefhuis. Een zwaar isolatiepakket verricht hetzelfde werk als de zware muren, de zonwering vervangt de luiken. Hierdoor ontstaat een zeer comfortabel en evenwichtig binnenklimaat, zomer en winter.

## Agnes Schuurmans Rockwool Benelux BV

# H4 Thermische isolatie



## 4.1 Inleiding

Het meest in het oog springende verschil ten opzichte van de reguliere bouw is het gebruik van een veel dikkere isolatielaag (circa 30 cm) met een warmteweerstand met een  $R_c$  van circa  $10 \text{ W/m}^2\text{K}$  waar in Nederland een  $R_c$  waarde van  $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  vereist is en een  $R_c$  van  $3 \text{ W/m}^2\text{K}$  bij nieuwbouw gebruikelijk is. Typische isolatiediktes voor wanden, daken en vloeren variëren van 18 cm tot 35 cm naargelang het type isolatiemateriaal. De isolatie dient overal continu door te lopen, ook bij aansluitingen tussen wanden, daken en vloeren en in verbindingen met kozijnen. Onder andere door deze isolatiewaarden kan een klassiek verwarmingssysteem worden vermeden zonder in te boeten aan warmtecomfort.

Voor een passiefhuis is 'aansluitende' en 'doorlopende' isolatie essentieel. Het verdient daarom aanbeveling om dikke isolatiepakketten meerlaags uit te voeren, zodat eventuele naden overlappen. Bij zachte isolatiematerialen is aansluiting relatief eenvoudig te bereiken. Bij harde platen is nauwkeurige aandacht en controle nodig om een aaneensluitende isolatielaag te verkrijgen.



Figuur 15: Woning Heusden-Destelbergen .

Voor de constructie van de gevels wordt veelal houtskeletbouw toegepast waarbij normaliter isolatie met pleisterwerk of een houten afwerking wordt gebruikt. Een voordeel van houtskeletbouw is dat de isolatie in de constructie zelf zit vervat. Dit in tegenstelling tot de traditionele constructies waar isolatie als een extra laag wordt toegevoegd. Hierdoor blijft de totale gevelconstructie in dikte beperkt tot zo'n 35 cm en is daarmee slechts enkele centimeters dikker dan reguliere spouwconstructies met baksteen. Een buitenafwerking van metselwerk wordt doorgaans niet gerealiseerd maar is wel mogelijk.

Er zijn in Duitsland producten in de handel om ook in zwaardere bouw een hoge mate van isolatie te bereiken [Bron: artikel V&W, 2005].

## 4.2 Richtlijnen

### Algemene richtlijnen

Het Bouwbesluit gaat uit van een warmteweerstand ( $R_c$ ) van ten minste  $2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$  voor de uitwendige scheidingsconstructie van een verblijfsgebied, een toiletruimte of een badruimte. Met de huidige stand der techniek wordt veelvuldig een  $R_c$  van  $3 - 4 \text{ m}^2\text{K/W}$  toegepast. De woningscheidende wanden worden in Nederland niet geïsoleerd.

#### Voorbeeldconstructies:

Dak: dakdoosconstructie, waarbij prefab dakdoos volledig is gevuld ( $R_c = 4$  à  $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). Gevel: Metselwerk -luchtsponw - houtskeletbouw-binnenblad, voorzien van dampremmende laag aan binnenzijde,  $R_c = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

#### Richtlijnen passiefhuis

De thermische schil van een passiefhuis is het meest prominente bouwdeel waarmee aan de passiefhuis-criteria wordt voldaan. Superisolatie en maximale luchtdichting minimaliseren de warmteverliezen door de buitenschil. De warmte weerstand van de gesloten geveldelen, dak en vloer in een passiefhuis bedraagt  $R_c = 6,5$  tot ca.  $10 \text{ m}^2\text{K/W}$ . De keuze van de isolatiewaarde volgt uit een projectspecifieke optimalisatie. In algemene zin is de strategie: maximale dakisolatie, goede kozijnen en beglazing, gevelisolatie en tenslotte de vloerisolatie verhogen tot voldaan wordt aan de passiefhuis-criteria.

#### Aandachtspunten met betrekking tot thermische isolatie:

- Inspectie op de bouw.
- (Vaardigheden bij) uitvoering.
- Vloeren: zorgvuldige plaatsing van de isolatie om samendrukking te voorkomen.

### 4.3 Uitwerking

Onderstaand worden voor de meest voorkomende bouwelementen oplossingen en aandachtspunten aangedragen met betrekking tot thermische isolatie overeenkomstig de passiefhuis-criteria.

#### Begane grondvloer

Er zijn verschillende ideeën voor isolatie van de kruipruimte:

- Kruipruimte volledig afvullen met tempexblokken.
- Tempexblokken onder prefab geïsoleerde vloer lijmen.
- Kruipruimte volledig afvullen met tempexblokken met daarop een laag minerale wol. Met alleen tempexblokken ontstaat altijd een valse spouw tussen de blokken

en de onderkant vloer. Door een laag minerale wol aan te brengen die samendrukbaar is, wordt dit voorkomen.

- Kruipruimte afvullen met thermoparels (tempexballetjes). Dit is een techniek die veel wordt toegepast in de na-isolatie van bestaande bouw. Er bestaat wel een risico dat deze laag op den duur zal inzakken waardoor er een valse spouw zal ontstaan. Garanties van een leveranciers zijn dus van belang.

Omdat de kruipruimte altijd volledig gevuld zal moeten worden, moet er rekening gehouden met de kwaliteit van het leidingwerk. Leidingen onder begane grondvloer moeten zodanig worden uitgevoerd, dat de kruipruimte gedurende de levensduur van de woning niet bereikt hoeft te worden. Het leidingwerk zal een gelijke levensduur moeten hebben als de woning. Daarnaast kan er een leidingzone gemaakt worden. Dit betekent een uitsparing in de tempexblokken waardoor de leidingen gelegd kunnen worden. Deze uitsparing kan eventueel afgevuuld worden met thermoparels of minerale wol.

Bij bouwen zonder kruipruimte wordt de vloerisolatie doorgezet rond de funderingsconstructie. Daardoor wordt de koudebrugterplekke van de gevelaansluiting beperkt.



Figuur 16: Bakstenen en houten afwerking.



### **Tunnelgietbouw, begane grondvloer**

Het is noodzakelijk om in een passiefhuis de fundering te isoleren. In het W&R concept wordt gebruik gemaakt van ongeïsoleerde prefab funderingen. Het is de vraag of het mogelijk is om te werken met geïsoleerde prefab funderingen omdat de isolatie in de praktijk erg gevoelig is voor beschadigingen tijdens het vervoer of in het werk. Uit praktijkvoorbeelden zullen de meest praktische oplossingen moeten blijken.



### **Houtskeletbouw, begane grondvloer**

*Bij een houten begane grondvloer verdient de luchtdichting van de vloer met de kruipruimte en de afdekking van de kruipruimtevloer extra aandacht ten einde vochtproblematiek te voorkomen.*

#### **Spouwankers**

De Nederlandse praktijkrichtlijn NPR 6791 ("steenconstructies") eist als koppeling per vierkante meter metselwerk bij spouwmuren tot 150 mm spouwbreedte tot tien meter hoogte vier corrosievaste ankers met een diameter van 4 mm. Op hoogten tussen tien en twintig meter worden zes van deze ankers voorgeschreven. In een passiefhuisconstructie overschrijdt de spouwbreedte deze 150 mm al snel, zeker bij traditionele isolatiematerialen. Dit heeft gevolgen voor de toepassing van spouwankers, niet alleen qua aantal maar ook qua type en zwaarte in verband met knikgevaar [bron: www.knb-baksteen.nl].

Knelpunt: in spouwmuur kunnen spouwankers de warmteweerstand van de wanden aanzienlijk omlaag halen.



### **Tunnelgietbouw, gevelisolatie**

Uitgaande van gietbouwcasco zijn er verschillende mogelijkheden voor positionering van isolatie ten opzichte van de huidige gevelisolatie. Een mogelijkheid is het toevoegen van een metal stud geïsoleerde binnenwand aan de binnenzijde. Ten opzichte van het referentiedetail (101.0.1.01.T1, ribcassettevloer met houtskeletbouw-binnenspouwblad en gemetseld buitenspouwblad) betekent dit 160 mm extra isolatie ( $\lambda = 0,035$  W/mK) aan

de binnenzijde toegevoegd. Hierbij moet worden gezorgd voor een extreem goede luchtdichtheid bij aanbrengen en onder invloed van gebruik en zonder invloed van veroudering gedurende levensduur van de gevel. Let hierbij op verspringend plaatsen van stijl en regelwerk.

De systeemlijn van de binnenwand is 'heilig'; daar is het hele W&R systeem op gebaseerd. In de communicatie over oplossingen moet altijd duidelijk blijken dat de systeemlijn gelijk blijft. Het naar buiten plaatsen van isolatie en metselwerk zou kunnen, maar er worden vraagtekens gezet bij de benodigde grotere spouwankers (duurder + koudebruggen). Een serieus alternatief is 'na-isolatie' aan de binnenkant.

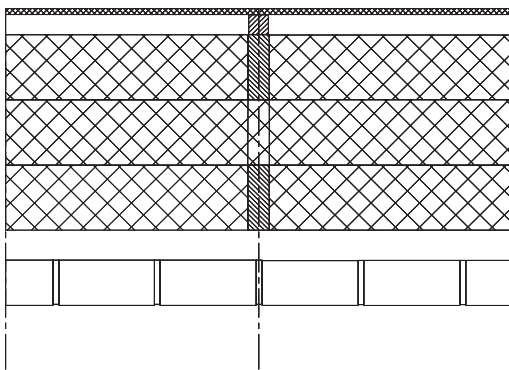
Om vast te kunnen houden aan het W&R concept is het wenselijk om twee kanten van de gevels meer te isoleren. Dus niet één (dikke) laag isolatie aan de buiten of binnenkant maar zowel de buiten als de binnenkant beter isoleren. De thermische zwakte zit dan vooral in het regelwerk. Door aan twee zijden te werken kan het regelwerk versprongen worden aangebracht. Het regelwerk kan verder beperkt worden door de toepassing van geïsoleerde systeemplaten zoals Rockwool Voorzetwand 406 of de Isover Calibel. Dit zijn voorbeelden van isolatiemateriaal waarop een gipskarton plaat verlijmd is aangebracht.



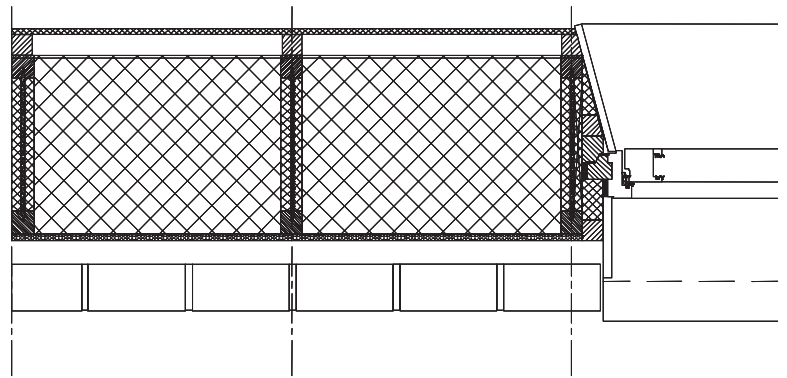
### Houtskeletbouw, gevelisolatie

Uitgaande van een traditionele houtskeletbouw-constructie kan een passiefhuis-constructie uitgevoerd worden door de constructie te herhalen en op te vullen met isolatie, zie figuur 17. Echter, een relatief groot deel van de isolatie wordt dan onderbroken door hout met een verlaging van de isolatiewaarde tot gevolg. Door het toepassen van I-profielen, zie figuur 18, wordt een hogere isolatiewaarde bereikt met een minder dikke constructie. Op deze manier worden materiaal en dus kosten bespaard.

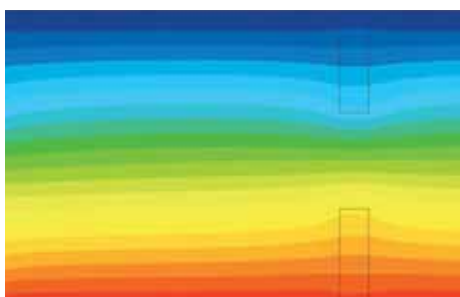
Met behulp van de beter isolerende I-liggers kan volstaan worden met minder isolatie om dezelfde Rc-waarde te bereiken. In het voorbeeld is gerekend met een gevel met een Rc waarde van  $10 \text{ m}^2\text{K/W}$ . De dikte van de isolatie bij een traditionele gevel bedraagt 430 mm en bij een gevel met I-liggers 380 mm.



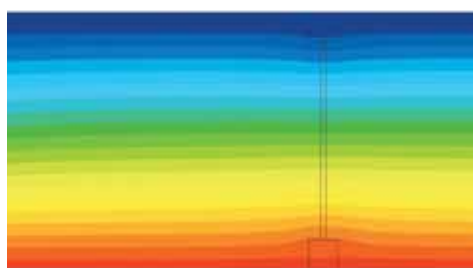
Figuur 17: Traditionele houtskeletbouw-constructie met passiefhuis-isolatie.



Figuur 18: Houtskeletbouw-gevelconstructie met I-profielen.



Figuur 19: Temperatuurverloop in traditionele houtskeletbouw-constructie.



Figuur 20: Temperatuurverloop in houtskeletbouw-constructie met I-profielen.



## Dak

Het verhogen van de isolatiewaarde van het dak is bouwfysisch eenvoudiger en ook goedkoper naarmate het dakvlak eenvoudiger van vorm is. De eenvoud wordt bepaald door de verhouding tussen oppervlakte en strekkende meters aansluitingen bij dakrand, opgaande constructies en doorbrekingen. Aandacht is nodig voor de detaillering en de uitvoering om risico's als inwendige condensatie te voorkomen.

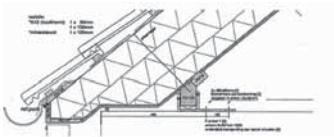


## Tunnelgietbouw, dak

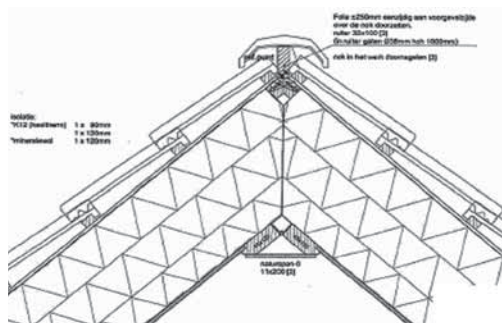
Ook binnen het W&R concept (scharnierkap) is het mogelijk om de gewenste Rc-waarde voor een passiefhuis te realiseren. Vanwege de extra dikte is het noodzakelijk over te stappen naar gelamineerd hout. Dit heeft te maken met de afmetingen die in "normaal" hout worden geleverd. De benodigde dikte wordt alleen geleverd in gelamineerd hout. Nadeel van gelamineerd hout is dat het duurder is (normaal hout 500 Euro/m<sup>3</sup>, gelamineerd 1.500 Euro/ m<sup>3</sup>).

Andere oplossingen die besproken zijn maar waarschijnlijk niet praktisch uitvoerbaar zijn:

- Handhaven van de bestaande W&R kap en vervolgens in het werk een soort extra kap aan de binnenzijde aanbrenge. Dit komt in principe overeen met na-isolatie. Nadeel hiervan is, dat het (te) veel werk oplevert en daardoor ook (te) veel afwijkt van het W&R concept. Bovendien werd het geen professionele oplossing bevonden.
- Aan de buitenzijde "na-isoleren". Nadeel is hetzelfde als de vorige oplossing.
- Innovatie van dakdoosconstructie door toepassing van I-liggers, zoals gebruikelijk in Zweedse houtskeletbouwconstructies.



Figuur 21: Detaillering passiefhuis dakconstructie



Figuur 22: Detaillering passiefhuis dakconstructie.

### Woningscheidende wand

In Nederland zijn de woningscheidende wanden niet geïsoleerd. Normaal gesproken zal het warmteverlies naar buren zeer beperkt zijn, aangezien in de aangrenzende ruimten dezelfde binnentemperatuur zal optreden. Indien in de aangrenzende woning een afwijkend gebruik van de woning van toepassing is of als de buren op vakantie zijn, kunnen situaties ontstaan waarbij temperatuurniveaus verschillen. Warmteverliezendoor de woningscheidende wand kunnen worden voorkomen door isolatie aan te brengen tegen de woningscheidende wand. Het belang van isolatie tussen woningen is beperkt tot kleine verschillen in energiegebruik van individuele woningen. Op het totale energieverbruik van een rij woningen heeft isolatie tussen woningen geen effect.

### Tunnelgietbouw, woningscheidende wand



*De woningscheidende wand wordt bij tunnelgietbouw niet geïsoleerd. Dit betekent dat bij het bepalen van de verwarmingscapaciteit rekening moet worden gehouden met eventuele warmteverliezen naar de buren.*

### Houtskeletbouw, woningscheidende wand



*Bij houtskeletbouw-woningen kan de woningscheidende wand eenvoudig worden geïsoleerd. Eventuele warmteverliezen naar buren (tijdens vakanties bijvoorbeeld) kunnen hiermee worden voorkomen.*

### Isolatiemateriaal

De thermische isolatie is een belangrijk onderdeel van een passiefhuis. Niet alleen materiaaleigenschappen, ook de uitvoering is van belang. Aandachtspunten bij de uitvoering van thermische isolatie zijn:

- Stroken isolatie tussen elementen strak aanbrengen. Door luchttransport (convectie) kan de isolatiewaarde sterk teruglopen en ontstaat een lage f-factor (koudebrug).
- Breng een dunne isolatie aan op de ankers.
- Vermijd zoveel mogelijk elementen in de spouw, die (kunnen) leiden tot luchtspouwen achter het isolatiemateriaal (en daardoor teruglopende isolatiewaarde tot 50%). Denk hierbij aan elektraleidingen, staalwerken houten regelwerk. Verwijder in dit kader ook specie- en lijmbaarden en/of pas isolatie toe die naadloos aansluit op het binnenspouwblad.
- Breng de isolatieplaten aan de spouwzijde in één vlak aan en isoleer niet hoger en verder dan tot waar die dag wordt gemetseld om vochttoetreding en beschadiging te voorkomen. Na het metselen en tijdens neerslag spouwen en metselwerk afdekken.

Isolatiematerialen hebben verschillende eigenschappen. Tri-Iso Super 9 is een zeer dun isolatiemateriaal waarvan de producent (Franse firma genaamd Actis) een Rc-waarde claimt van 5 m<sup>2</sup>K/W. Andere en onafhankelijke testen hebben echter uitgewezen dat de Rc-waarde slechts 1,71 m<sup>2</sup>K/W bedraagt (inclusief 2 keer een luchtspouw). Het is dus van belang de werkelijke waarden van materialen te kennen of te achterhalen.



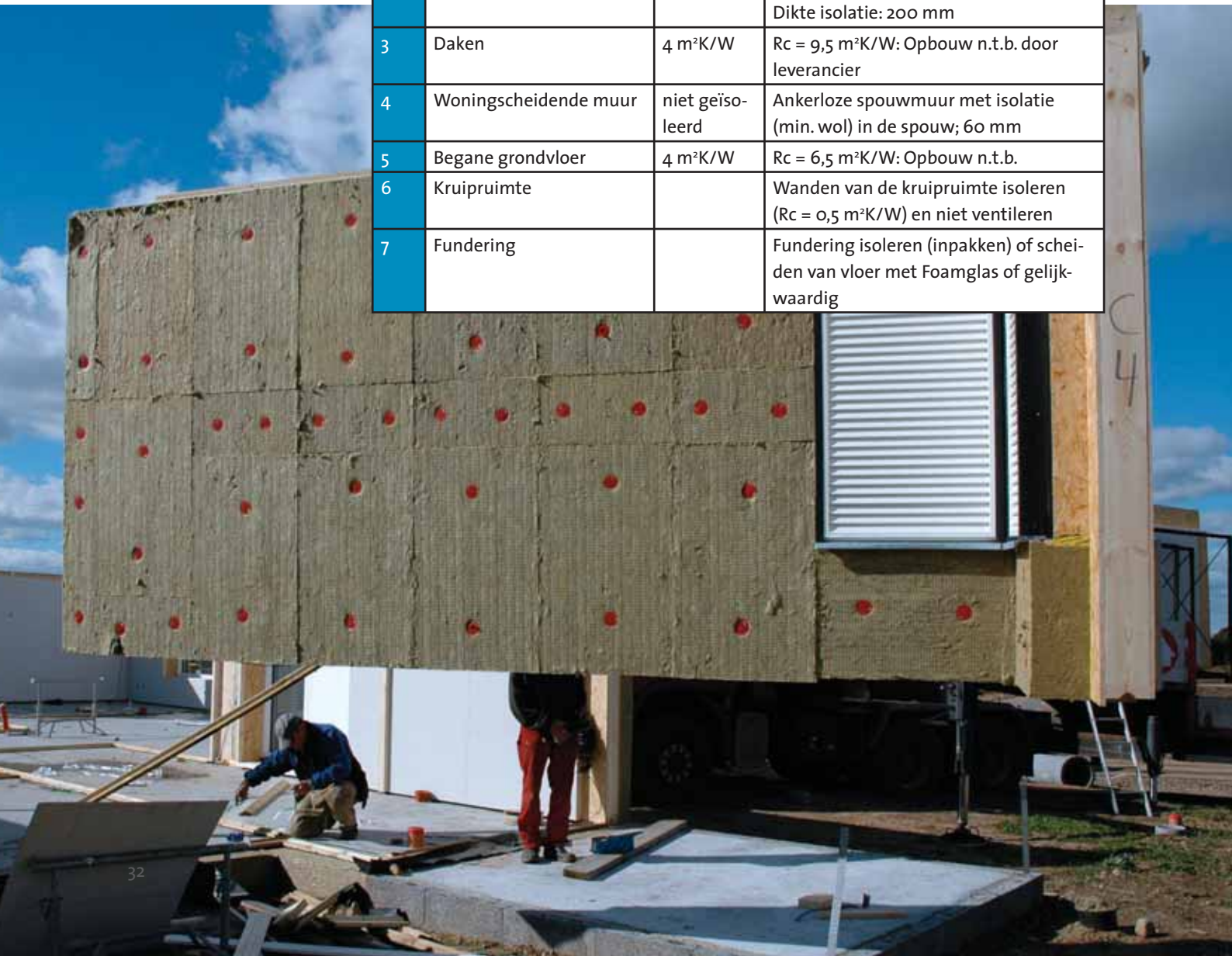


### Tunnelgietbouw, overzicht maatregelen.

Het W&R-concept is uitgewerkt als passiefhuis. In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de toe te passen isolatiemaatregelen, zoals voorlopig voorgesteld [Bron: Technisch Adviesbureau Krone].

Tabel 2: Overzicht isolatiewaarden tunnelgietbouw woning in passiefhuis uitvoering.

Nr.	Bouwdeel	Referentie	Omschrijving passiefhuis-uitvoering
1	Langsgevels	4 m <sup>2</sup> K/W	Rc = 8,4 m <sup>2</sup> K/W: HSB-elementen met I-profielen; PIR isolatie. Dikte element: 240 mm
2	Kopgevel	4 m <sup>2</sup> K/W	Rc = 9 m <sup>2</sup> K/W: Betonnen binnenblad en daarop PIR-isolatie. Dikte isolatie: 200 mm
3	Daken	4 m <sup>2</sup> K/W	Rc = 9,5 m <sup>2</sup> K/W: Opbouw n.t.b. door leverancier
4	Woningscheidende muur	niet geïsoleerd	Ankerloze spouwmuur met isolatie (min. wol) in de spouw; 60 mm
5	Begane grondvloer	4 m <sup>2</sup> K/W	Rc = 6,5 m <sup>2</sup> K/W: Opbouw n.t.b.
6	Kruipruimte		Wanden van de kruipruimte isoleren (Rc = 0,5 m <sup>2</sup> K/W) en niet ventileren
7	Fundering		Fundering isoleren (inpakken) of scheiden van vloer met Foamglas of gelijkwaardig



### Dampremmende laag

Het SBR-referentiedetail voorziet aan de binnenzijde van de constructie in een dampremmende laag. Deze damprem voorkomt dat het vocht uit de binnenlucht doordringt tot in de koudere lagen in de constructie, met inwendige condensatie tot gevolg. Door de toevoeging van extra isolatie voor het bereiken van  $R_c > 8,5 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$  moet de eventuele noodzaak en optimale positie bepaald worden van de damprem in de nieuwe passiefhuis-constructie.

Mogelijkheden zijn:

- Geen dampremmende laag.
- Dampremmende laag handhaven in bestaand houtskeletbouw binnenblad.
- Dampremmende laag weglaten in bestaand houtskeletbouw binnenblad en opnemen in voorzetwand.
- Variatie in dampdichtheid isolatiematerialen: van binnen naar buiten van dicht naar open.

Middels een Glaser-berekening is het dampspanningsverloop bepaald voor bovengenoemde vier varianten (figuur 23 t/m 26). Een constructie voldoet wanneer de optredende dampspanning, door de constructie heen, de verzadigingsdampdruk niet overschrijdt. De uitgangspunten die bij de berekening zijn gehanteerd, zijn weergegeven in de volgende tabellen.

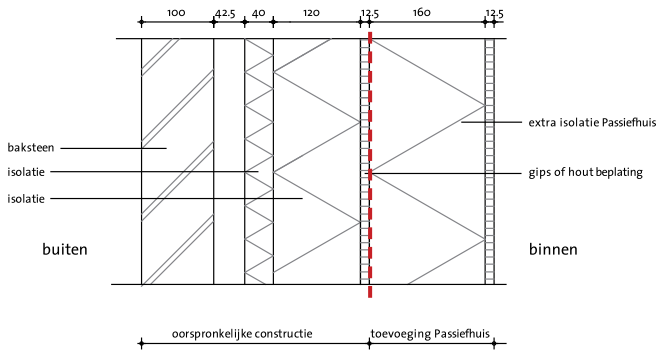
Tabel 3: Klimaatgegevens.

	Binnen		Buiten	
Temperatuur	$T_i$	20°C	$T_e$	-7°C
Relatieve vochtigheid	$RV_i$	50%	$RV_e$	90%

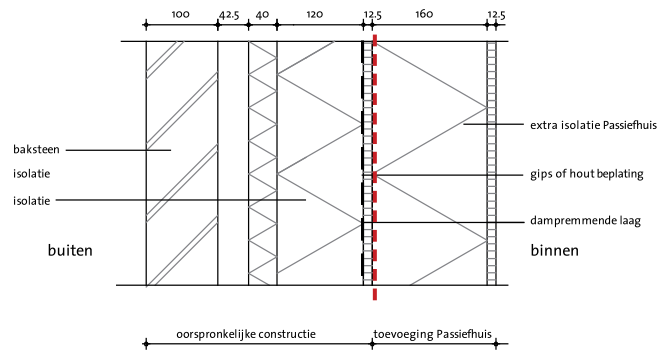


Tabel 4: Uitgangspunten constructie (van binnen naar buiten).

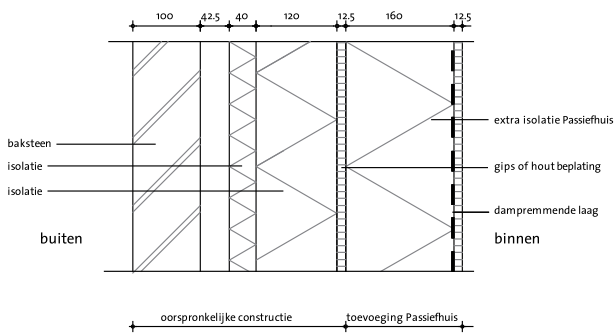
	dikte, d (mm)	warmtegeleidingscoëfficiënt, $\lambda$ (W/mK)	dampdiffusieweerstand, $\mu$ (-)
Gips	12,5	0,46	1,5
Isolatie	160	0,0035	1,5
Gips of hout	12,5	0,2	6
Dampremmende laag	0,1	1	20.000
Isolatie (var. 1-3)	160	0,035	1,5
Isolatie: extra dampdicht (var. 4)	160	0,035	250
Spouw	42,5	0,25 (o.b.v. $R_{\text{spouw}} = 0,17$ )	0
Baksteen	100	1,3	11



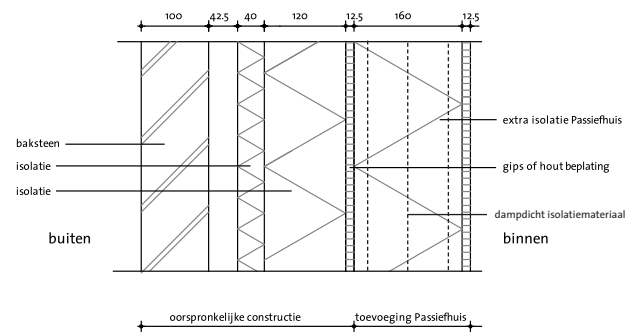
Figuur 23. Variant 1. Constructie zonder dampremmende laag. Rode stippellijn betekent condensatie.



Figuur 24. Variant 2: Dampremmende laag handhaven in bestaand houtskeletbouw-binnenblad. Rode stippellijn betekent condensatie.

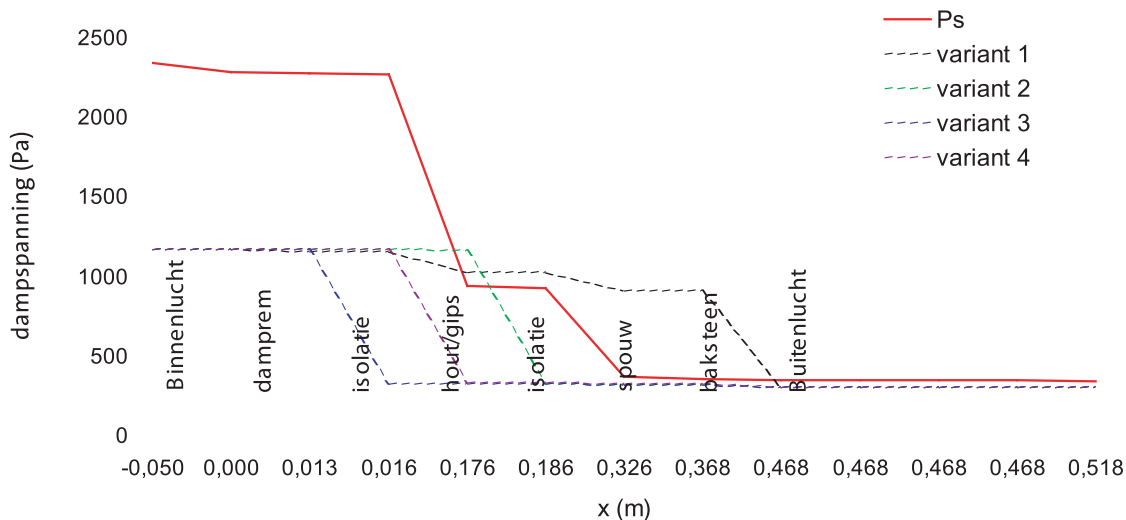


Figuur 25. Variant 3: Dampremmende laag weglaten in bestaand houtskeletbouw-binnenblad en opnemen in voorzetwand.



Figuur 26. Variant 4: Variatie in dampdichtheid isolatiematerialen: van binnen naar buiten van dicht naar open.

In onderstaande grafiek is het dampspanningsverloop weergegeven in de constructie, van binnen naar buiten. Condensatie treedt op daar waar  $P_w$  (dampspanning) hoger is dan  $P_s$  (verzadigingsdampdruk).



Figuur 27: Dampspanningsverloop voor de verschillende constructieopbouw.



Bij variant 1 (geen damprem) en variant 2 (handhaven bestaande dampremmende laag) treedt condensatie op doordat de optredende dampspanning ( $P_w$ ) hoger is dan de verzadigingsdampdruk ( $P_s$ ) ter plaatse van hout/gips (zie figuur). Bij varianten 3 en 4 wordt de verzadigingsdampdruk in de constructie niet bereikt, waardoor geen condensatie in de constructie zal ontstaan.

De dampremmende laag dient daarom gesitueerd te zijn aan de binnenzijde, tussen isolatie en gipsplaat of de binnenste laag isolatie dient minder dampdoorlatend (is meer dampdicht) te zijn. Dampdichte isolatiematerialen zijn bijvoorbeeld geëxtrudeerd PS-schuim met een dampdiffusieweerstandsgetal,  $\mu \geq 250$ . Een dampremmende laag kan bestaan uit een PE-folie of gebitumineerde aluminiumfolie,  $\mu \geq 20000$ .

### Houtskeletbouw, dampremmende laag



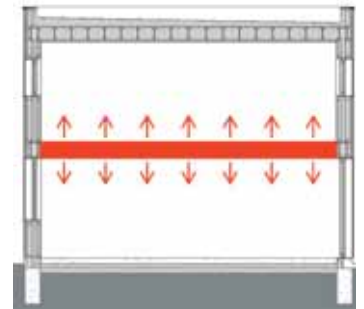
Voorbeeld: dampremmende laag woning te Heusden Destelbergen.

De, aan de warme zijde van de buitenwanden geplaatste, PE-folie vervult een functie als dampscherm wat damptransport in de constructie moet tegengaan en inwendige condensatie vermijden. De 0,185 mm dikke PE-folie laat zich makkelijk verwerken en verklevan met butyl- of acrylaatbanden, heeft een hoge elasticiteit en is brandwerend A1. Het scherm is wit halfdoorschijnend, wat ook nog na plaatsing controle van de thermische isolatie toelaat. De grote afmetingen (lxb: 1,5x2m) van de dampschermen laten toe het aantal naden, lees "potentiële kansen op lekken", tot een minimum te beperken.

Een plasto-elastische dubbelzijdig klevende afdichtingsband op basis van buthyrubber zorgt voor een uitstekende hechting en dichtheid tussen de voldoende grote overlappen van de banen. De nog vrijhangende uiteinden van het overlappend scherm en de nietjes ter bevestiging aan de houten structuur, werden extra met enkelzijdig klevende tape dichtgewerkt. Alle tsvoorzieningen zitten geconcentreerd in de tussenvloer zodat gevels, vloeren en

dak gevrijwaard zijn van buizen, leidingen en bedrading (zie figuur). De opdrachtgever koos er voor geen enkele leiding in de vrijstaande straat- noch tuingevel aan te brengen. Aldaar bevindt het dampscherm zich onmiddellijk achter de binnenafwerking. Om koudebrugwerking te vermijden aan de voet van de houtskeletbouw-constructie ter hoogte van de scheidingsmuur, werd aan de binnenzijde nog een extra laag van 6 cm isolatie voorzien. Alzo ontstond tevens een leidingenspouw die het dampscherm behoedt tegen perforatie.

Op de beschieting van de straat- en tuingevel is aan de buitenzijde een waterkerend, en om redenen van damphuishouding, dampdoorlatend bouwpapier aangebracht. Deze dichting voorkomt dat de wind de thermische isolatiewaarde van de wand vermindert. De plaatsing gebeurde van onderen naar boven zodat de diverse banen elkaar stroomafwaarts kunnen overlappen. Ook de voegen zijn regen- en winddicht. Bij elke horizontale naad werd een minimum overlapping gerespecteerd van 10 cm; bij elke verticale 15 cm. Rondom de openingen zijn bijkomende stroken en bouwpapier hoekstukken aangebracht. De naden zijn met enkelzijdig klevende waterbestendige tape dichtgewerkt. Bij de aansluiting met de scheidingsmuur werd op het regen- en windscherm een zelfklevende voegdichtingsband vastgedrukt door middel van een lat.



Figuur 28: Illustratie van nutsvoorzieningen in de tussenvloer.



Figuur 29: Voorbeelden van zelfklevende voegdichtingsband vastgedrukt door middel van een lat.



# Luchtdichting

Natuurlijke ventilatie, het klinkt als een mooi ideaal. Verse gezonde buitenlucht die kant-en-klaar komt aanwaaien, gratis en voor niets, en de woning voldoende verlucht.

Maar is dit wel zo? Bij de bouw van een woning worden vele duizenden euro's uitgegeven aan isolatie en goed schrijnwerk, maar eens bewoond slapen maar al te veel mensen liever met open raam. Dus worden er 's winters een dikke hightech donsdeken aangesleurd, en doen mensen lyrisch over dit "lekker-onder-een-warme-deken" gevoel. Maar hoort dit wel bij een moderne woning? Zit hier geen laagje modern vernis over 19de eeuwse toestanden?

De realiteit toont dat voldoende natuurlijke verluchting – als ze al bestaat – niet meer is dan een statistische uitspraak over een lange periode. Natuurlijke ventilatie door kieren en gaten is alles behalve constant. De verluchting hangt af van de winddruk, windrichting en de temperatuur. Zelfs een heel open gebouw wordt op een windstille, kalme dag onvoldoende verlucht. Daarnaast is er ook geen enkele controle over de richting van de luchtstroom. Zo ontstaat de kans dat vervuilde lucht zich verspreidt door de hele woning.

Houden we alle deuren en ramen gesloten, dan vermindert de kwaliteit van de binnenlucht dus snel. En toch gaat er nog heel wat warmte verloren via de aanwezige tochtlekken, wat zich al gauw vertaalt in enkele honderden euro's extra stookkosten per jaar.

Bouwfysisch is natuurlijke ventilatie evenmin ideaal. Tochtlekken veroorzaken immers heel wat bouwschade. Vooral wanneer warme lucht van binnen naar buiten migreert door de wand. Deze lucht koelt onderweg af en bereikt zo zijn dauwpunt. Er ontstaat condens in de constructie met vochtschade tot gevolg.

Tot slot zorgen tochtlekken ook voor een verminderde geluidsisolatie van de constructie.

Een gecontroleerde ventilatie met warmteterugwinning is zo het hedendaagse antwoord op een gezond binnenklimaat, en dit gaat hand in hand met een zeer goede luchtdichtheid. Het binnencomfort stijgt zo aanzienlijk, terwijl de kosten voor verwarmen dalen en bouwschade wordt vermeden.

**Erwin Mlecnik**  
passiefhuis-platform België

## 5.1 Inleiding

Gebouwen zijn een samenstelling van diverse materialen en componenten met meerdere randen, overlappingsen of doorvoeren. Deze zijn normaliter niet altijd met de grootste zorg afgedicht. Bovendien kunnen deze luchtlekken door bewegingen groter worden of kunnen er nieuwe ontstaan wanneer afdichtingen niet volgens de erkende technische regels duurzaam worden uitgevoerd. Om een goede luchtdichtheid van het gebouw te kunnen garanderen, moet eigenlijk een doorlopende luchtdichtheidslaag worden gedefinieerd en geïmplementeerd. Typische zwakke plekken in de luchtdichtheid bij de reguliere bouw zijn: aansluitingen van buiten- met binnenwanden, daken of vloeren; buitenkozijnen, rolluiken en zonwering en de aansluiting met de ruwbouw; doorgangen van riolerings- en ventilatiebuizen en elektriciteit-, sanitair- of verwarmingsleidingen.



Teneinde bij passiefhuizen infiltratie van buitenlucht via lekken niet tot onnodige energieverliezen en tochtverschijnselen te laten leiden, moet in detail en uitvoering een extreme luchtdichtheid van de gebouwschil worden nagestreefd. Het gebouw moet zeer luchtdicht zijn om warmteverliezen via kieren, spleten en aansluitingen te vermijden. De luchtdichtheid van een passiefhuis wordt getest met een praktische proef, de zogenoemde blowerdoor-test.

## 5.2 Richtlijnen

### Algemene richtlijnen

Beperking van luchtdoorlatendheid volgens het Bouwbesluit: de volgens NEN 2686 bepaalde lucht volumestroom van het totaal aan verblijfsgebieden, toiletruimten en badruimten van een gebruiksfunctie is niet groter dan  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Als richtwaarde voor de karakteristieke luchtdoorlatendheid voor een nieuwbouwwoning met gebalanceerde ventilatie geldt  $q_{v,10;kar} = 0,625 \text{ dm}^3/\text{s.m}^2$ .

### Richtlijnen passiefhuis

In de constructie van passiefhuizen is veel aandacht benodigd voor de luchtdichting van de gebouwschil, vooral bij verbindingen tussen verschillende elementen zoals ramen en deuren. Door middel van een blowerdoor-test worden de luchtlekken in een woning gemeten. De passiefhuis-standaard schrijft een  $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$  voor. Dit komt overeen met een karakteristieke luchtdoorlatendheid  $q_{v,10;kar} = \pm 0,15 \text{ dm}^3/\text{s.m}^2$ .

*Aandachtspunten met betrekking tot luchtdichting zijn:*

- Detaillering.
- Inspectie op de bouw.
- (Vaardigheden bij) uitvoering.
- Voorkomen van een luchtstroom tussen en gevelspouw door de naad tussen onderzijde begane grondvloer en bovenzijde funderingsbalk zorgvuldig af te dichten.
- Voorkomen van luchtlekken door de dichtingen aansluitend aan te brengen. Let op het aanbrengen van dichtingen achter knieschotten en aan de kopzijden van de muurplaat.

## 5.3 Uitwerking

In vergelijking met standaard nieuwbouwwoningen is de voor passiefhuizen vereiste maximale infiltratievoud van  $0,6/\text{h}$  bij een drukverschil van  $50 \text{ Pa}$  zeer laag te noemen. Ter illustratie: de SenterNovem-referentiewoning ( $320 \text{ m}^3$ ) heeft een infiltratievoud van circa  $1/\text{h}$  bij  $10 \text{ Pa}$ . Omgerekend naar het infiltratievoud bij een drukverschil van  $50 \text{ Pa}$  komt dat neer op circa  $2,5/\text{h}$ . Dit is circa vier keer zo 'lek' als de bij passiefhuizen maximaal toegestane waarde van  $0,6 \text{ h}^{-1}$  [Bron: artikel V&W, 2005].

De eis  $n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$  wordt vertaald naar:  $P_{10}: n < 0,22 \text{ h}^{-1}$ . Dit komt overeen met een  $q_{v,10;kar} = 0,15 \text{ dm}^3/\text{s.m}^2$ .

## Tunnelgietbouw, luchtdichting

Een  $qv_{10}$ ;kar van  $0,3 \text{ dm}^3/\text{s.m}^2$  is voor tunnelgietbouw reeds goed haalbaar in de huidige bouwpraktijk en kan als uitgangspunt dienen. Om een  $qv_{10}$ ;kar van  $0,15 \text{ dm}^3/\text{s.m}^2$  te realiseren zijn extra maatregelen nodig.



Aangezien luchtdichting in passiefhuizen van cruciaal belang is voor het intern comfort, moeten ook de ramen luchtdicht ingebouwd worden. Dit uit zich zowel in het materiaal als in de plaatsing. De raamkaders van opengaanderamen zijn voorzien van een dubbele tot drievoudige luchtdichtingstrip en tijdens het plaatsen van het raam moet de luchtdichte aansluiting tussen wand en raam verzekerd worden. Dit is een kritiek punt in de totale luchtdichting van het gebouw. Vooral het hang- en sluitwerk van het kozijn vormt vaak een zwak punt in de luchtdichting van ramen. Het sluitwerk zelf moet uiteraard ook thermisch onderbroken zijn en op een dergelijke wijze bevestigd zijn, zodat geen kritische punten in het luchtscherm worden doorboord [PHP-technologiewijzer, Schrijnwerk].

In tegenstelling tot de in België meer traditionele raamprofielen zorgt een tweede elastische rubberen strip voor extra wind- en tochtichting. Standaard meerpunts- en veiligheidssluitingen trekken de raamvleugels strakker aan. Aan de buitenzijde van de kozijnen is omwille van de akoestiek, regen-, lucht- en winddichtheid een plasto-elastische butylrubberband gekleefd tot op de omgevende constructie-elementen. De butylband wordt gekenmerkt door een zeer hoge kleefkracht; is eenzijdig voorzien van een scheurvaste UV- en weersbestendige kunststof-alu toplaag, is gas- en waterdampdiffusiedicht, heeft een brede verwerkingstemperatuur en temperatuurbestendigheid.

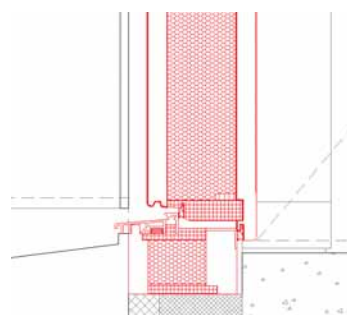
De passiefhuis-ramen worden, zelfs in woningbouw, geleverd inclusief beglazing waardoor een goede inpassing is verzekerd. Bij dergelijk zware beglazingen zijn nauwkeurige verstelbare en stevige vastzettingssankers een must. De vastzettingssankers zijn nog van een extra dichtingsband voorzien. Ook aan de binnenzijde maakt een elastische butylrubberband de aansluiting tussen buitenschrijnwerk en wandconstructie. De kozijnband is tweezijdig klevend. Door middel van een zelfklevende bevestigingsstrip wordt de kozijnband voor de eigenlijke montage aan de zijkanten van het buitenschrijnwerk aangebracht. Op deze manier gebeurt de montage snel en verdekt ten opzichte van de latere binnenaafwerking. De bandzijde die tegen de wandconstructie dient aangedrukt is tweezijdig klevend zodat ook het dagscherm er op kan worden aangesloten. Wanneer gewenst, wordt de kozijnband voorzien van een kunststofvlies waarover gepleisterd of geschilderd kan worden.

## Deuren

In het bijzonder dient ook gelet te worden op de keuze van buitendeuren. Passiefhuisdeuren bevatten meestal een onderregel, die de luchtdichte sluiting verzekert en een extra luchtdichting wanneer het slot wordt vergrendeld. Het sluitwerk zelf moet uiteraard ook thermisch ononderbroken zijn en op een dergelijke wijze bevestigd zijn, zodat geen kritische punten in het luchtscherm worden doorboord [PHP-technologiewijzer, Schrijnwerk].



Figuur 30: Illustraties luchtdichting bij kozijnen.



Figuur 31: De deuren hebben, net als de ramen, een volledig rondomlopend kader; het onderprofiel is wel beperkt in hoogte.





## Houtskeletbouw, luchtdichting

Voorbeeld: Luchtdichting woning Heusden-Destelbergen. Het isolatiemateriaal voor de vloer op begane grond betreft expandeerde polystyreenplaten EPS30. Dit materiaal heeft een zeer goede verhouding tussen isolerend vermogen en kostprijs. De platen zijn met geschranke voegen in twee lagen van 8 cm geplaatst. De platen liggen tussen de betonnen werkvloer en de gepolierde betonvloerafwerking. Dergelijke vloerconstructie vormt op zich een goed luchtdicht geheel.

Bijzondere aandacht werd geschonken aan de diverse doorboringen (voor rioleringen, grondbuis ventilatie,...) en aansluitingen met de wanden. Het PE-scherm, ter bescherming van de isolatieplaten tegen betonaanmaakwater en ten gunste van de goede binding van het beton, werd aangesloten op de wanddichting. Bij de aansluiting van de houtskeletbouw-buitenmuren op de begane grondvloer is gebruik gemaakt van een stelregel; op hoogte gebracht door middel van vulblokjes en naderhand onderkoud met krimprijke mortel. Elk stelregelonderdeel is minimaal op twee plaatsen verankerd aan de, op maximaal 70 cm van elkaar, in de funderingsrand ingegoten schroefdraadstangen. Een vocht- plus waterkerende folie scheidt het houtwerk van de steenachtige funderingsconstructie en een samendrukbaar dichtingsband onder de stelregel verzekert de luchtdichtheid.



De verdiepingvloer-elementen worden, volgens de platformmethode, op de wanden van de ondergelegen bouwlaag gelegd. Deze vloerelementen vormen zo, op hun beurt, een werkplatform voor het plaatsen van de volgende laag. Een belangrijk voordeel hiervan is dat de naden tussen de wand en vloerelementen worden dichtgedrukt. Door de draagrichting van tussenvloer en dak te kiezen evenwijdig met straat- en tuingevel hebben deze laatste nauwelijks lasten te dragen. Hierdoor volstaat een zeer summiere aansluiting tussen vloer en gevels. De doordachte keuze inzake draagrichting van vloer- en dakbalken onttrekt de moeilijker aan te sluiten balkeinden van de vrijstaande gevels. De luchtdichtheid kan makkelijker verzekerd worden aan de zijde van de metselwerk scheidingsmuren op de perceelsgrens. Omdat de bestaande scheidingsmuren op de perceelsgrenzen niet volledig evenwijdig stonden, werd bij het ontwerp een nieuwe onafhankelijke structuur voorzien. Hierdoor kon de OSB beschieting over de randbalk door lopen en zodoende een betere luchtdichtheid bewerkstellingen. Het bestaande metselwerk en het pleisterwerk van de buur bieden een aanvullende dichting.

Woning Heusden-Destelbergen  
Architect: DenCI-Studio bvba



### **Meting luchtdichtheid**

De mate van luchtdichtheid van het gebouw of, met andere woorden, de kwantitatieve beoordeling van de luchtdichtheidsgraad, is bepaald aan de hand van een blowerdoor-test. De opzet is relatief eenvoudig. In eerste instantie wordt tussen de binnen- en buitenomgeving een drukverschil gecreëerd, waarna vervolgens de hoeveelheid weglekkende lucht wordt gemeten. Door middel van een regressie-berekening van het gemeten drukverschil over de gebouwschil en het luchtdebiet, wordt het luchtdebiet voor een drukverschil van 50 Pa bepaald. De verhouding van het luchtdebiet tot het gebouwvolume geeft het ventilatievoud voor een drukverschil van 50 Pa: de n50-waarde.

Voor een geldige meting met bewijskracht is het belangrijk de planning van de uitvoering van de bouwwerkzaamheden en het oogenblik van de meting op elkaar af te stemmen. Het gebouw moet zich in een toestand bevinden die in sterke mate overeenstemt met de normale gebruikstoestand. Zo moeten alle bouwonderdelen en -elementen die een duidelijke invloed hebben op de luchtdichtheid zijn aangebracht: regen- en windscherm, dampscherm, aansluitingen met kozijnen.

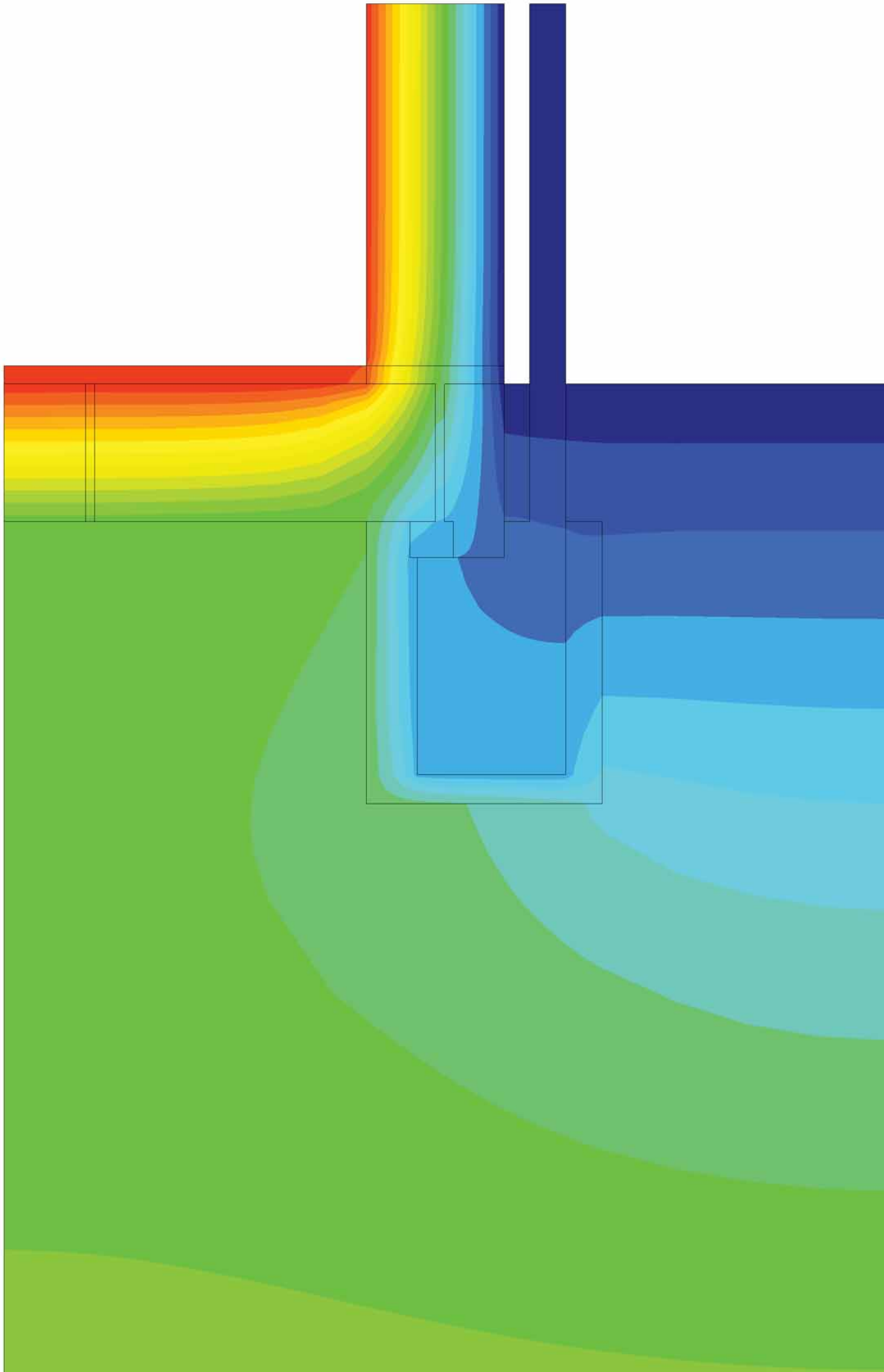
Alle plaatsen, waarvan op basis van ervaring kan worden vermoed dat ze aanleiding kunnen geven tot belangrijke luchtlekken, moeten nog bereikbaar zijn, opdat na uitvoering van de test nog verbeteringen kunnen worden aangebracht. Dat betekent dat bijlichte constructies als houtskeletbouw en bij hellende daken de binnenbekleding nog niet aangebracht mag zijn.

Naast een kwantitatieve beoordeling is een kwalitatieve evaluatie, ter situering van de eigelijke lekken, minstens even belangrijk. Daarbij kan bijvoorbeeld gebruik gemaakt van zogenaamde rookstaafjes, die rook verspreiden wanneer er op wordt gedrukt. Een luchtlek wordt gedetecteerd wanneer de rook wordt weggeblazen ter hoogte van een bepaalde aansluiting. De snelheid waarmee de rook verdwijnt is een eerste indicatie van de grootte van het lek.

### **Open haard**

Open haarden zijn thermische gezien uit den boze, gezien er over het jaar heen meer energie door de schouw verloren gaat dan er door de haard wordt opgewekt. Open haarden zijn een negatieve energieleverancier, zelfs met afsluitklep. Bovendien blijkt de luchtdichtheids-eis van laag-energie-woningen en passiefhuizen niet te verzoenen met dergelijke schouwen.





# Koudebruggen / details

Doordat de buitenschil van een passiefhuis extreem goed wordt geïsoleerd, is de aandacht voor eventuele koudebruggen van eminent belang. Het voorkomen van koudebruggen is daarom één van de basis-uitgangspunten van een passiefhuis.

Het grootste risico voor het ontstaan van koudebruggen ligt bij de onderlinge aansluiting van bouwdelen. Behalve een goede en nauwkeurige uitvoering is het ook van belang veel aandacht te besteden aan de wijze van detailleren, waarbij met name ook gelet moet worden op luchtdichtheid. Door de keuze van deze uitgangspunten wordt daarmee in feite ook gekozen voor een verregaand geprefabriceerd productieproces onder geconditioneerde omstandigheden. Het werken onder goede condities met toezicht, op basis van een deugdelijk kwaliteitssysteem en een nauwkeurige uitvoering, voorkomt dat theoretische prestaties in de praktijk niet worden gehaald.

Uit de TRNSYS berekeningen blijkt dat aansluitingen van gelijksoortige (geprefabriceerde) bouwelementen, die volledig geïsoleerd zijn en een vrijwel doorlopende isolatieschil vormen, de beste resultaten opleveren.

Naast de genoemde uitgangspunten vormen onderdelen als kozijnen, opgenomen in de bouwdelen, bijzondere aandacht, omdat met name bij deze onderdelen sprake kan zijn van koudebruggen. Principes die gehanteerd kunnen worden om te voldoen aan de eisen die een passiefhuis hieraan stelt zijn:

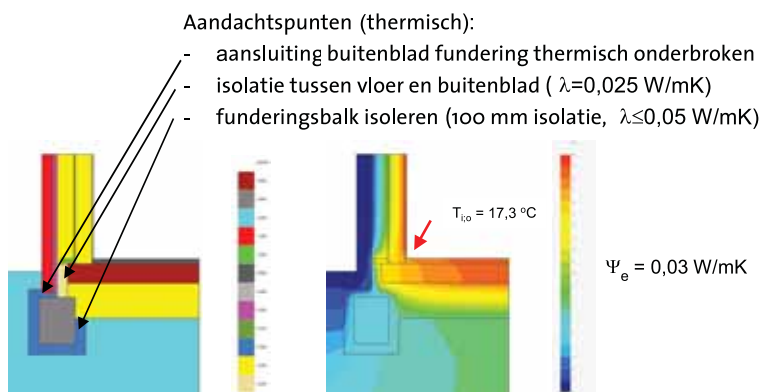
- Het onderbreken van de koudebrug door middel van een isolerend materiaal.
- Het koudebrugoppervlak zoveel mogelijk minimaliseren. Bijvoorbeeld door andere kozijnhoutmaten of door het “inpakken” met isolerend materiaal van de kozijnen.

De uitdaging waar verder vorm aan moet worden gegeven is om, binnen de Nederlandse bouwregelgeving en normering, passende en technisch verantwoorde oplossingen te vinden.

## Jan Hoekstra VDM-woningen

### 6.1 Inleiding

De thermische schil is extreem goed geïsoleerd. De isolatie dient overal continu door te lopen, ook bij aansluitingen tussen wanden, daken en vloeren en in verbindingen met kozijnen. Het totale transmissieverlies wordt bepaald door het warmteverlies door de constructiedelen én de bijbehorende lineaire koudebruggen. De lineaire warmtedoorgangscoefficiënt (psi-waarde  $\Psi$  in W/mK) geeft aan hoeveel warmte verloren gaat door een lineaire koudebrug per strekkende meter detail bij een temperatuurverschil van één graad. Het lineaire warmteverlies bestaat uit de psi-waarde (W/mK) van het detail vermenigvuldigd met het aantal meters dat het detail voorkomt.



Figuur 32: Voorbeeld koudebrugdetail.

### 6.2 Richtlijnen

#### Algemene richtlijnen

In het Bouwbesluit worden eisen gesteld aan de minimaal optredende temperatuur van het binnenoppervlak, uitgedrukt in de f-factor. Bij een te lage oppervlaktetemperatuur, kan de relatieve vochtigheid ter plaatse zo hoog zijn, dat zich schimmels en mijten kunnen vormen die schadelijk zijn voor de gezondheid. Ook kan oppervlaktecondensatie optreden. De eis voor woonfuncties is f-factor  $\geq 0,65$ .

#### Richtlijnen passiefhuis

Koudebruggen moeten worden voorkomen in een passiefhuis, de constructie moet koudebrugvrij zijn. Een detail in passiefhuis-terminologie is koudebrugvrij indien de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt

( $\Psi_e$ ) gelijk aan of kleiner is dan  $0,01$  W/mK, refererend aan buitenmaten<sup>1</sup>. Aandacht moet besteed worden aan correcte detaillering en uitvoering, vooral bij verbindingen tussen raam- en deurkozijnen, vloeren en daken.

*Aandachtspunten met betrekking tot koudebruggen zijn:*

- Detaillering.
- Inspectie op de bouw.
- (Vaardigheden bij) uitvoering.

Een psi-waarde hoger dan  $0,01$  W/mK zal niet direct leiden tot koudebrug problemen, maar de verhoogde transmissie verliezen dienen gecompenseerd te worden door een hogere isolatiewaarde in de overige componenten.

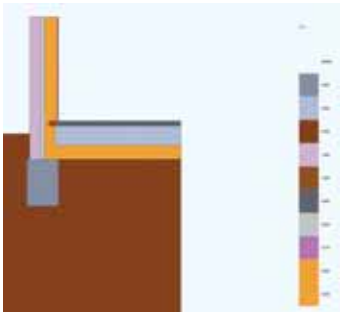
### 6.3 Uitwerking

In deze paragraaf worden eerst twee referentiedetails, zijnde details die voldoen aan de huidige bouwbesluit-eis, aangepast tot passiefhuis-details. De te treffen maatregelen worden stapsgewijs inzichtelijk gemaakt. Vervolgens komen voor zowel tunnelgietbouw als houtskeletbouw meerdere kenmerkende details aan bod. Oplossingen en problemen met betrekking tot passiefhuis-criteria worden inzichtelijk gemaakt voor deze kenmerkende details. Het voordeel van de meeste houtskeletbouw-details is, dat weinig problemen te verwachten met (te hoge) lineaire warmteverliezen doordat de isolatielaag in de constructie niet onderbroken wordt.

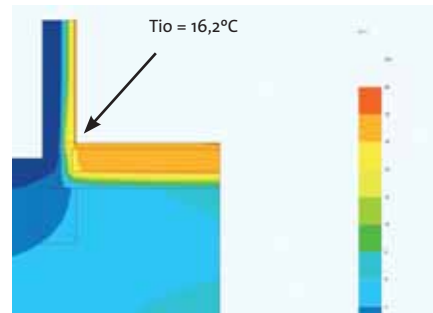
#### Funderingsdetail volgens passiefhuis-criteria

Voor de aansluiting van de fundering met de vloer en gevel en de aansluiting van de verdiepingsvloer met de gevel is met behulp van het rekenprogramma TRISCO voor een aantal varianten de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt bepaald. Onderstaand een voorbeeld van een referentiedetail en een serie maatregelen die nodig is, om te kunnen voldoen aan een psi-waarde lager dan  $0,01$  W/mK.

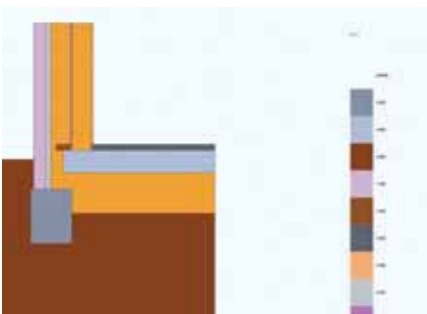
<sup>1</sup> in afwijking met NEN 1068 waarin gerefereerd wordt aan binnenmaten



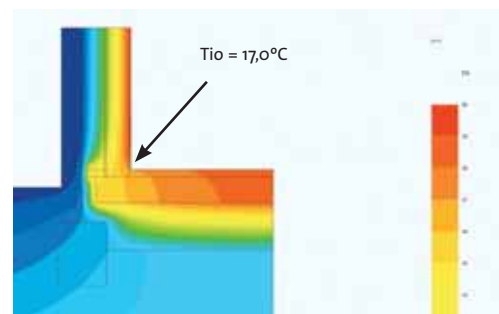
Referentie, detail met  $R_c = 4 \text{ m}^2\text{K/W}$  voor gevel en vloer



$\psi_e = 0,17 \text{ W/mK}$



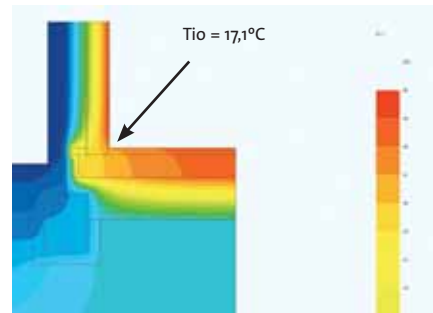
Variante 1, detail met  $R_c = 8,5$  en  $9,5 \text{ m}^2\text{K/W}$  voor gevel en vloer, respectievelijk.



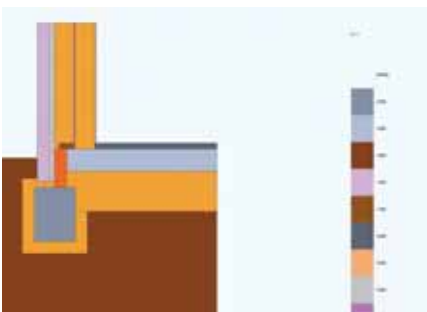
$\psi_e = 0,06 \text{ W/mK}$



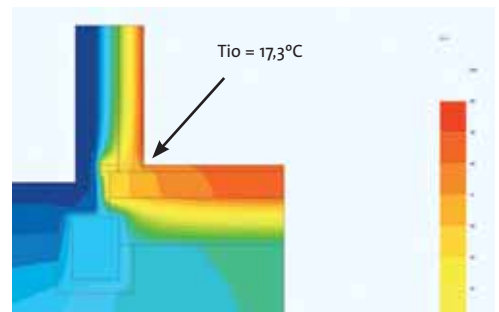
Variante 2, idem variante 1, waarbij funderingsstrook is ingepakt met isolatie ( $\lambda = 0,05 \text{ W/mK}$ ).



$\psi_e = 0,05 \text{ W/mK}$



Variante 3, idem variante 2, aansluiting buitenblad fundering thermisch onderbroken en isolatie tussen vloer en buitenblad van hoogwaardige kwaliteit ( $\lambda = 0,025 \text{ W/mK}$ ).



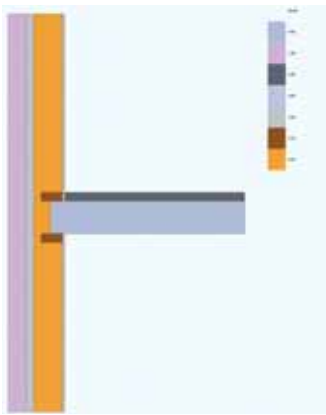
$\psi_e = 0,03 \text{ W/mK}$

Figuur 33: Koudebrugberekeningen van de aansluiting gevel, vloer met fundering.

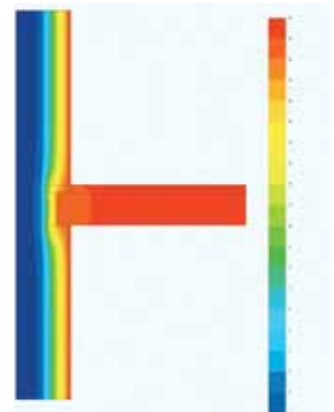
### Verdiepingsvloer

Ter plaatse van de aansluiting van de verdiepingsvloer met de gevel wordt de isolatie plaatselijk doorbroken door de vloeroplegging. Bij een passiefhuisconstructie, waar het isolatiepakket dikker is, kan dit resulteren in koudebruggen. Aan de zijde waar de uiteinden van de tussenvloer- of dakbalken op de draagmuur liggen, kunnen koudebruggen enkel vermeden

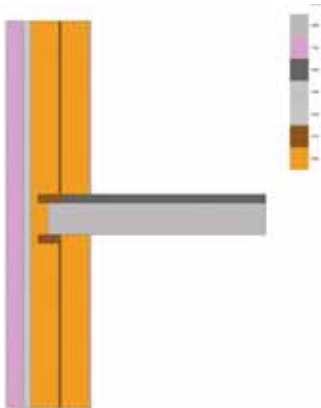
worden door extra isolatie aan de buitenzijde aan te brengen. Dit impliceert een werkwijze waar eerst de draagstructuur van de wanden wordt aangebracht, om naderhand naar buiten toe te isoleren. Door middel van onderstaande figuren is weergegeven wat de invloed is van deze doorbreking in het referentiedetail, in de passiefhuis-constructie en een aangepast detail.



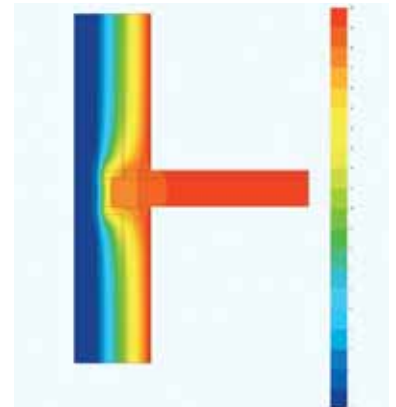
Referentiedetail aansluiting verdiepingsvloer met gevel ( $R_c = 4 \text{ m}^2\text{K/W}$ ).



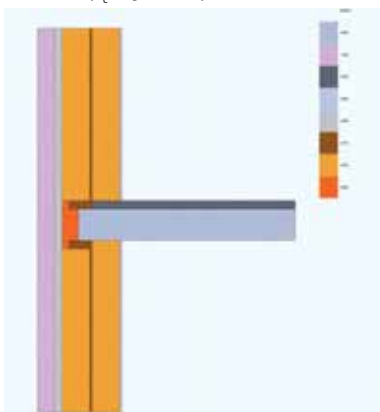
$\psi_e = 0,12 \text{ W/mK}$



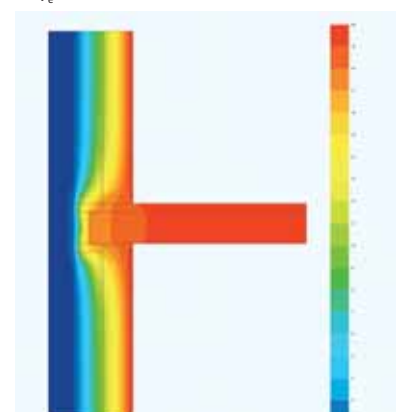
Gevel ( $R_c = 8,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ ).



$\psi_e = 0,12 \text{ W/mK}$



Gevel  $R_c = 8,5 \text{ m}^2\text{K/W}$  met ter plaatse van de doorbreking hoogwaardige isolatie ( $\lambda = 0,025 \text{ W/mK}$ ).



$\psi_e = 0,10 \text{ W/mK}$

Toelichting figuren linkerpagina:

- De isolatie wordt gedeeltelijk doorbroken door de vloeroplegging, wat resulteert in een verhoogd warmteverlies ter plaatse van de oplegging. De lineaire warmtedoorgangscoefficiënt,  $\psi_e$  bedraagt 0,12 W/mK.
- Bij toevoeging van meer isolatie aan de binnenzijde van de gevel ten behoeve van passiefhuis-isolatie tot een  $R_c$  van 8,5 m<sup>2</sup>K/W, zal eveneens ter plaatse van de oplegging een verhoogd warmteverlies optreden. De lineaire warmtedoorgangscoefficiënt  $\psi_e$  bedraagt 0,12 W/mK.
- Door het toepassen van isolatiemateriaal met een betere isolatiewaarde ter plaatse van de vloeroplegging wordt de warmtedoorgangscoefficiënt verlaagd tot 0,10 W/mK. Dit is echter te hoog voor passiefhuis-standaarden.

De beste oplossing is een detail zodanig te herzien, dat de isolatie volledig doorloopt.

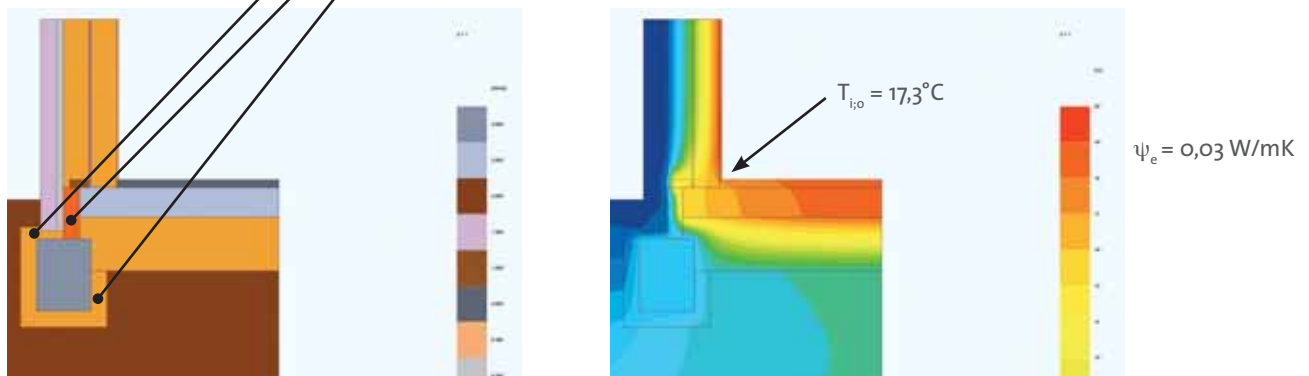
### Tunnelgietbouw, details koudebruggen



Onderstaand worden een aantal details weergegeven, uitgevoerd in tunnelgietbouw.

#### Aandachtspunten (thermisch):

- aansluiting buitenblad fundering thermisch onderbroken
- isolatie tussen vloer en buitenblad ( $\lambda=0,025$  W/mK)
- funderingsblad isoleren (100 mm isolatie,  $\lambda \leq 0,05$  W/mK)



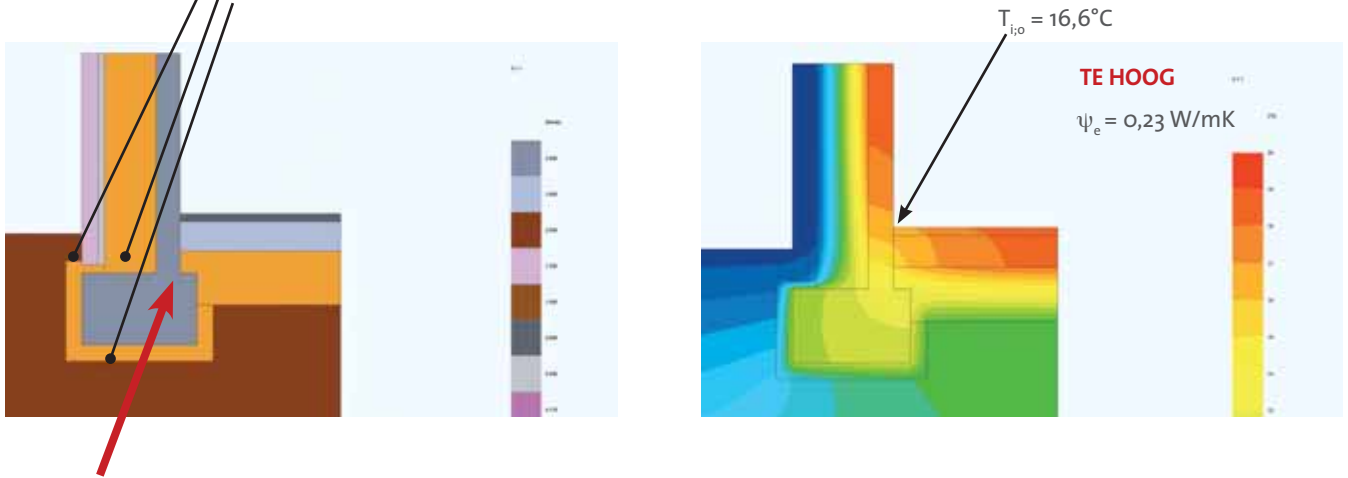
Figuur 34: Kopgevel - vloer - fundering. De funderingsstrook dient rondom voorzien te zijn van 100 mm isolatie ( $\lambda \leq 0,05$  W/mK).





**Aandachtspunten (thermisch):**

- aansluiting buitenblad fundering thermisch onderbroken
- isolatie cellulair glas (gesloten cellen)
- funderingsblad isoleren (100 mm isolatie,  $\lambda \leq 0,05$  W/mK)

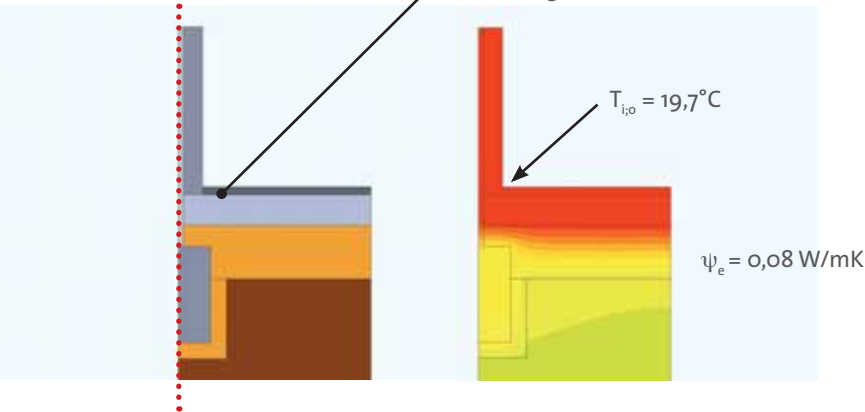


Figuur 35: Voor-/achtergevel – vloer – fundering. Het detail voldoet niet. Oplossing is: muur op nokken, overige delen tussen nokken opvullen met isolatie.

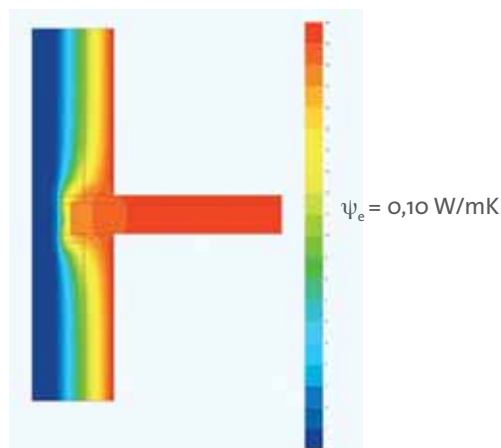
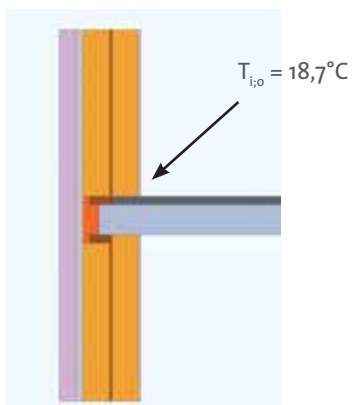
symmetrie-as

**Aandachtspunten (thermisch):**

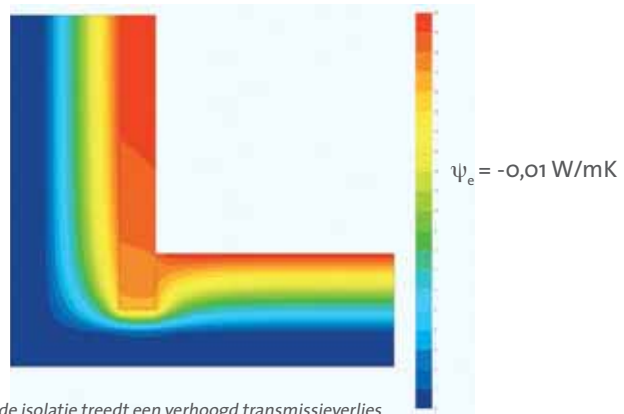
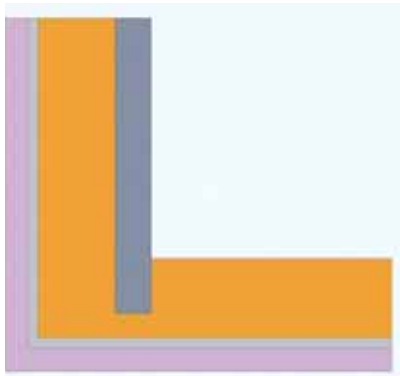
- funderingsblad isoleren (100 mm isolatie,  $\lambda \leq 0,05$  W/mK)



Figuur 36: Vloer – woningscheidende wand. De woningscheidende wand wordt bij tunnelgietsbouw niet geïsoleerd. Dit betekent dat bij het bepalen van de verwarmingscapaciteit rekening moet worden gehouden met eventuele warmteverliezen naar de burens.



Figuur 37: Detail voor-/achtergevel – vloer. Aandachtspunten hierbij zijn: isolatie tussen vloer en buitenblad en eventuele kleinere oplegging. Dit kan (voor verdiepingsvloer) theoretisch wel, maar levert praktische problemen.



Figuur 38: Detail voor/achtergevel – kopgevel. Door de onderbreking van de isolatie treedt een verhoogd transmissieverlies op in de hoek. Zonder deze onderbreking zal de  $\psi$ -waarde van dit detail ca  $-0,05$  bedragen en heeft het detail een nog betere isolatiewaarde.

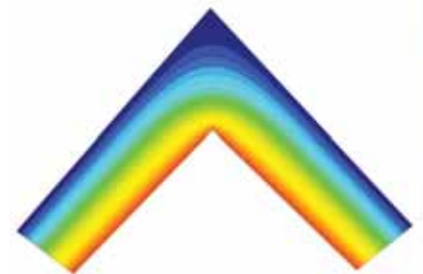
Het detail voor/achtergevel-kopgevel laat zien dat het betonnen binnenspouwblad verdoordringt in de isolatielaag. Onderzocht is of minder onderbreking van de thermische laag mogelijk is door in plaats van aan de binnenzijde aan de buitenzijde te isoleren. De isolatiewaarde van het detail wordt hierdoor verbeterd. Opties zijn:



- Extra isolatie aan buitenzijde en metselwerk. Consequentie is dat de fundering breder moet worden uitgevoerd.
- Extra isolatie aan buitenzijde, voorzien van plaatafwerking. Vermoedelijk kan de 'standaard' fundering gelijk blijven.
- Eén dik pakket, kant en klaar. Opbouw, mogelijk voorzien van I-liggers van hout, nader te bepalen.

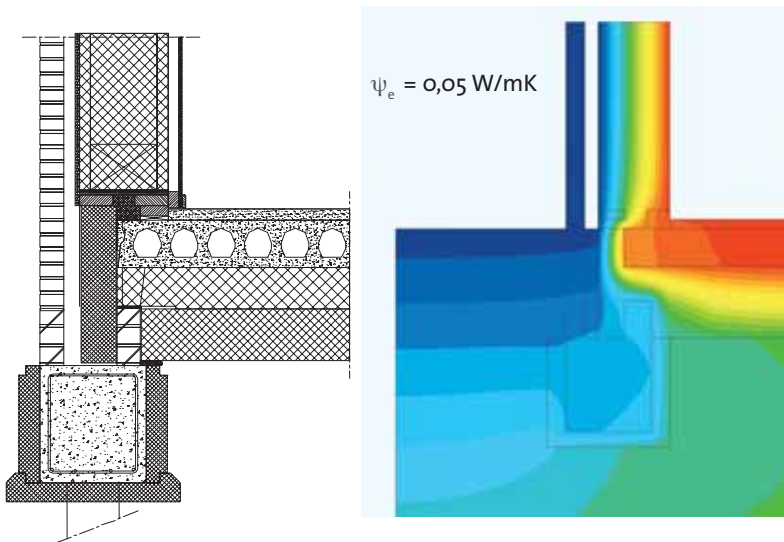


Figuur 39: Dak / nok detail.

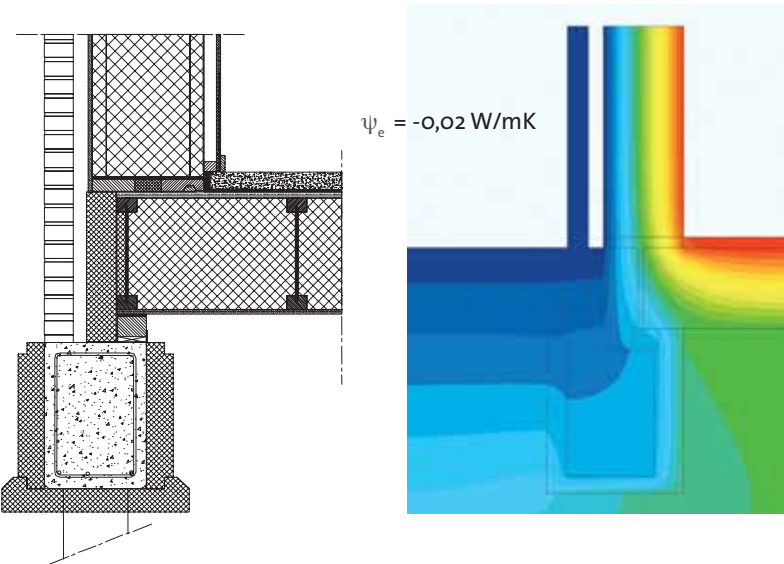


$\psi_e = -0,05 \text{ W/mK}$

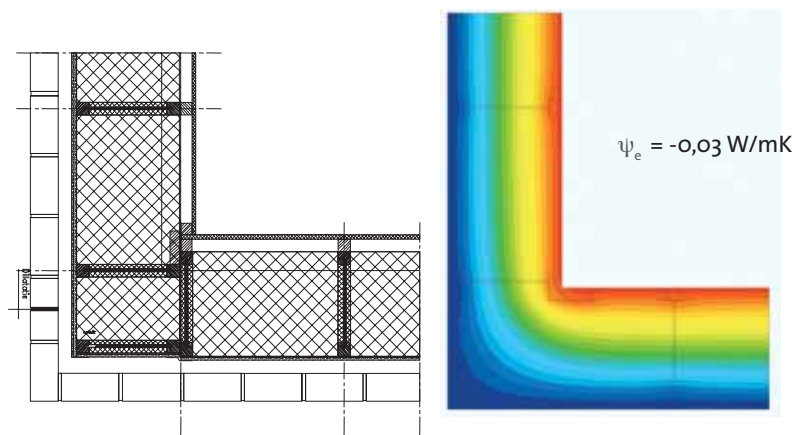




Figuur 40: Detaillering en temperatuurverloop bij aansluiting gevel met begane grondvloer en fundering, in de uitvoering houtskeletbouw met een kanaalplaatvloer.



Figuur 41: Detaillering en temperatuurverloop bij aansluiting gevel met begane grondvloer en fundering, in de uitvoering houtskeletbouw met een houten vloer.



Figuur 42: Detaillering en temperatuurverloop bij hoekdetail gevel in de uitvoering houtskeletbouw met I-profielen.



### Houtskeletbouw, koudebruggen

Hiernaast worden een aantal houtskeletbouwdetails weergegeven. Twee details betreffen de aansluiting begane grondvloer met de fundering. Het derde detail betreft een hoekaansluiting in de gevel. Behalve het bouwkundige detail, is ook het temperatuurverloop in het betreffende detail weergegeven. Eén funderingsdetail is uitgevoerd met een kanaalplaatvloer, het tweede met een houten vloer. Energetisch gezien is een houten vloer gunstiger omdat de isolatielaag minder onderbroken wordt. Een belangrijk aandachtspunt bij houten vloeren is de luchtdichting van de vloer. Dit in verband met de kruipruimte en samenhangende vochtproblematiek.

### Houtskeletbouw, uitvoering details

Onderstaand wordt een voorbeeld gegeven van een woning te Heusden-Destelbergen te België. Een principieel verschil met de Nederlandse bouwpraktijk is, dat in Nederland veel meer wordt geprefabriceerd. In Nederland wordt gewerkt met half-open of geheel gesloten elementen, zie onderstaande foto's. In België daarentegen wordt meer op de bouw samengesteld, wat ook zichtbaar is in tekst en foto's op de volgende pagina.





*Voorbeeld: woning Heusden-Destelbergen  
De draagrichting van de tussenvloer en het dak is evenwijdig met straat- en tuingevel, die hierdoor nauwelijks lasten dragen. Een zeer summiere aansluiting met minimale koudebrug tussen vloer en gevels volstaat. De OSB vloer en dakbordingen trekken de gevelconstructie aan zonder de thermische isolatielaag verder te moeten onderbreken. Bovendien kan het grote zuid georiënteerde raam zonder al te zware, koudebrug veroorzakende, lateien geconstrueerd worden.*

*Aan de zijde waar de uiteinden van de tussenvloer- of dakbalken op de draagmuur liggen, kunnen koudebruggen enkel vermeden worden door extra isolatie aan de buitenzijde aan te brengen. Dit impliceert een werkwijze waar eerst de draagstructuur van de wanden wordt aangebracht, om naderhand naar buiten toe te isoleren.*

*De buitenmuren zijn dubbel uitgevoerd en voorzien van een integrale thermisch doorlopende isolatielaag. In een eerste fase werd de houtstructuur die het eigen gewicht van de gevel moet torsen geïsoleerd met 14 cm isolatie. Daarna werd een isolerende laag van 10 cm aangebracht zonder onderbrekingen; zelfs niet door houten stijlen of regels. In een derde fase werd een tweede houtskeletbouw-structuur aangebracht waarin 9 cm isolatie. Deze laatste structuur vervult geen echte draagfunctie, doch klemt de isolatie aangebracht in de tweede fase en vormt de bevestigingsbasis voor de binnenafwerking. Vooral voor zijn dragend vermogen werd onder de deuren en ramen tot op vloerniveau een cellenglas drukvaste ondersteuning voorzien [Bron: de Koevoet, winter 2003, artikel: 'Koudebruggen opblazen en thermisch isoleren'].*



Figuur 43: Opbouw van gevel.



# Kozijnen en beglazing

Het contact met de buitenwereld dreigde even verloren te gaan .....

Warmer in huis zonder glas.

Ventileren door buizen.

Projecteer op de muur elektronisch het uitzicht dat je wenst.

Zijn we weer terug in de holtentijd?

Is het nog gezond?

Een paar duizend jaar ontwikkeling overtuigt gelukkig het “gezond” verstand.

Een kozijn met glas een “goudmijn” voor bewoners!

- Minder asociaal gedrag door sociale controle middels uitzicht.
- Tegen vereenzaming door betrokkenheid op het sociale buitenleven.
- Geborgenheid door veiligheid voor ongewenst bezoek van soortgenoot of vleugeldrager.
- Het koude glas geeft een steeds warmer gevoel.
- De warmte van het hout geeft ontwikkeling in detail.
- De frisse lucht zichtbaar direct van buiten.
- De kille dwang van tocht voorbij.
- De koestering van de zon in koele tijd.
- Een zonnebril van zonwering voor een koel gevoel in warme tijd.
- Een heerlijke verkoeling in een frisse zomernacht.
- Veel vrijheid in 't geheel.

En dat alles in zoveel variatie van vorm en kleur.

Wat gelukkig, dat er kozijnen met glas zijn.

Wat een toekomst met Actieve kozijnen in een passiefhuis!

## Auke Th. de Boer De Vries Kozijnen



Figuur 44: Extreem isolerend raamkozijn met drievoudig glas.



Figuur 45: Passiefhuis kozijn.

## 7.1 Inleiding

Isolatie speelt een belangrijke rol in het behalen van de passiefhuis-standaard. Ramen zijn vaak een zwak punt in de isolatie. In passiefhuizen wordt hieraan extra aandacht besteed.

De hoeveelheid glas, de plaatsing en oriëntatie speelt een belangrijke rol. Het passiefhuis-glas bestaat uit drievoudig glas en werkt, mits juist geplaatst en gedimensioneerd, als een passieve zonnecollector. Het passiefhuis-glas heeft, in vergelijking met normaal dubbel glas, een beduidend hogere oppervlaktetemperatuur aan de binnenzijde, wat het thermisch comfort in de wintersituatie sterk verbetert. Je kunt aan het raam zitten zonder de koude van het glas te moeten compenseren met een verwarmingselement en zonder aan comfort in te moeten boeten.

De U-waarde van het totale raam hangt af van de volgende factoren: de U-waarde van het glas en van het kozijn, de afstandhouder in de glasrand, de inbouwdiepte van het glas in het kader, de plaatsing en bevestiging in de wand en de geometrie van het raam. De verbinding met de gevel en de afstandhouder veroorzaken koudebruggen en zijn daarom de zwakste thermische punten van het raam. Bij passiefhuisramen is de U-waarde van zowel glas als raamkader zo laag, dat de andere factoren een belangrijke rol gaan spelen in de energieprestatie. Onvoldoende isolerende eigenschappen van afstandhouders kunnen, zelfs in combinatie met super-isolerend glas en raamkaders, voorvochtproblemen zorgen. De koudebrug die veroorzaakt wordt door de afstandhouder kan verminderd worden door het kader verder om het glas heen te laten lopen.

## 7.2 Richtlijnen

### Algemene richtlijnen

Om te voldoen aan de eisen van het Bouwbesluit met betrekking tot energiezuinigheid (epc), wordt meestal uitgegaan van dubbele beglazing, type HR<sup>++</sup> en houten kozijnen met een

enkele kierdichting bij draaiende delen. Bij natuurlijke ventilatietoever zijn ventilatieroosters opgenomen in het raam. De voordeur is vaak ongeïsoleerd met enkele kierdichting. Onderstaand een overzicht:

- Beglazing: HR<sup>++</sup>, U waarde 1,2 W/m<sup>2</sup>K; LTA 0,76; ZTA 0,63.
- Kozijnen: houten kozijnen, U waarde 2,4 W/m<sup>2</sup>K.
- Voordeur: ongeïsoleerd, Rc = 0,12 m<sup>2</sup>K/W tot Rc = 0,33 m<sup>2</sup>K/W.

### Richtlijnen passiefhuis

Passiefhuis-ramen bestaan uit drievoudige beglazing met een lage emissiecoëfficiënt (e-waarde) en een hoge ZTA-waarde, die meer zonnewarmte doorlaat dan verloren gaat. De kozijnen zijn extra geïsoleerd en zijn geschikt voor plaatsing van driedubbele beglazing en voorzien van dubbele kierdichting bij draaiende delen. Draaiende delen worden (bij voorkeur) uitgevoerd als draai-kiepraam. In verband met het toepassen van een gebalanceerd ventilatiesysteem, ontbreken de ventilatietoeverroosters in de gevel. De voordeur is geïsoleerd. Een onderbreking van de thermische isolatie ter plaatse van de aansluiting is in een passiefhuis kritisch en zal zonder koudebrug uitgevoerd moeten worden. Onderstaand een overzicht van passiefhuis-maatregelen:

- Beglazing: drievoudige beglazing,  $U_{\text{waarde}} \leq 0,85$  W/m<sup>2</sup>K; LTA 0,6; ZTA 0,4 - 0,6.
- Kozijnen: kozijn in passiefhuis uitvoering;  $U_w \leq 0,8$  W/m<sup>2</sup>K.
- Voordeur: geïsoleerd,  $U_d \leq 0,8$  W/m<sup>2</sup>K.
- Aansluiting kozijn - gevel, lineair warmteverlies  $\psi_{\text{installation}} \leq 0,01$  W/mK.

### Aandachtspunten met betrekking tot kozijnen en beglazing:

- Extra heffaciliteiten op de bouwplaats voor zwaardere driedubbele beglazing.



### 7.3 Uitwerking

#### Kozijnen

Passiefhuis-ramen kunnen gemaakt worden uit verschillende materialen en materiaalsamenstellingen. De kozijnprofielen zijn in hout, aluminium en kunststof leverbaar. Door kozijnprofielen samen te stellen en te voorzien van bijvoorbeeld een kurk of PUR tussenlaag, verbetert de thermische prestatie. Houten ramen bestaan vaak uit een samenstelling van hout en isolatiemateriaal, waarbij dat laatste zowel kurk, PUR of een ander materiaal kan zijn. Er bestaan ook volhouten ramen, die rekenen op de extra isolatiecapaciteit van enkele ingesloten luchtkamers. De houten ramen kunnen, om onderhoud of esthetische redenen, voorzien worden van een aluminium buitenprofiel. Voor kunststofraamkaders is het essentieel dat de grote luchtkamers opgevuld worden met isolatiemateriaal [PHP-technologiewijzer, Schrijnwerk]. Op de Duitse markt is een groot scala aan beglazingen en kozijnen beschikbaar die voldoen aan de hoge isolatiewaarden.

In Oostenrijk zijn passiefhuis-kozijnen ontwikkeld, bestaande uit hout met een aluminium afwerking. Het passiefhuisvenster is een volhouten kozijn en zowel het vaste als het draaiende deel bestaat volledig uit hout. De aangenomen isolatiewaarde van het kozijn is gebaseerd op 98 mm houtdikte met ingesloten luchtkamers die de koudebrug onderbreken. De raamprofielen zijn smal. De kozijnen zijn voorzien van een dubbele dichting, een dichtingsprofiel in het midden en een aanslagprofiel aan de binnenzijde van het draaiende deel. De waterslag uit aluminium garandeert bij het draaiende en vaste deel sobere aansluitmogelijkheden.

Voor bij een gelaagde opbouw van hout in combinatie kurk of PUR is aandacht nodig voor de eisen van het Politiekeurmerk.

#### Tunnelgietbouw, Aanpassing afmetingen kozijnen en beglazing

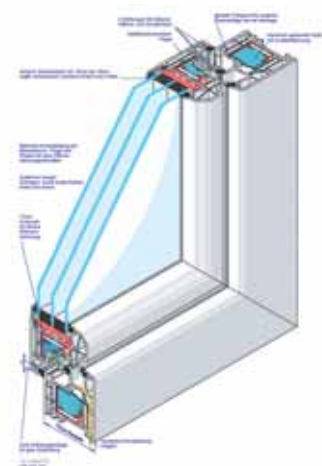
Ten behoeve van het passiefhuis-ontwerp zijn de afmetingen van de kozijnen van het W&R-concept aangepast (vergroot). In figuur 47 zijn deze aanpassingen weergegeven.

#### Beglazing

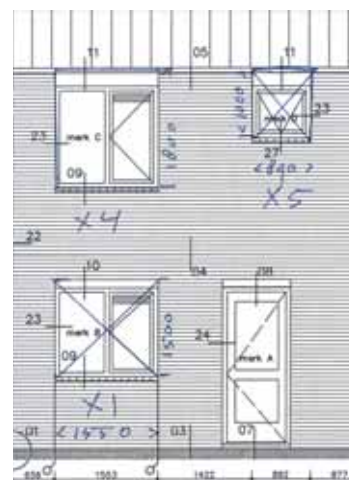
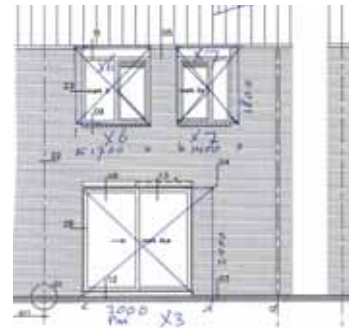
Zuidgerichte superisolerende ramen hebben de eigenschap dat ze meer warmte kunnen binnenlaten dan ze verliezen, en zijn een onontbeerlijke bron van passieve warmtewinsten. Ook in onverwarmde ruimten in de woning (verkeersruimten, berging) wordt 3-voudig glas met een U-waarde van  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  toegepast. De ZTA bedraagt meestal  $> 0,5$ .

Drievoudige beglazing kan zijn samengesteld uit drie ruiten van elk 4 mm, gescheiden door twee spouwen van 16 mm. De buitenste ruiten zijn aan de zijde van de spouw voorzien van een coating. De spouwen zijn gevuld met het edelgas argon dat beter thermisch isoleert dan lucht. Om koudebrug werking zoveel mogelijk te vermijden zit het glas dieper in de sponning. De warmtedoorgangcoëfficiënt van het glas zonder randeffecten bedraagt  $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$  [Bron: De Koevoet, winter 2003: 'Koudebruggen opblazen en thermische isolatie'].

Een variant op drievoudige beglazing is dubbele beglazing met één of meerdere in de luchtspouw gespannen kunststoffolies. Zo wordt de spouwbreedte van de verschillende spouwen beperkt en valt het nadeel van het extra gewicht van de glasplaten weg. De folies moeten wel perfect gespannen zijn en mogen niet vervormen in de loop der jaren. In Duitsland en België zijn meerdere merken drievoudige beglazing voorhanden. Ook in Nederland is drievoudige beglazing verkrijgbaar.



Figuur 46: Kontur 5000  $U_w = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ .



Figuur 47: Ontwerptekeningen waarin vergroting van het glasoppervlak zichtbaar is.





Figuur 48: Voordeuren passiehuizen  
Göteborg.

### Deuren

De meeste leveranciers van passiefhuisramen hebben ook dito deuren in hun assortiment, bijvoorbeeld van firma Sigg uit Oostenrijk. De deur heeft een dubbele sluiting rondom en een houten drempel, afgewerkt met een aluminium profiel waartegen de dichtingen aandrukken, zodat deze winddicht afsluit. Vaak betreft een dergelijke uitvoering enkel de voordeur. 'Andere' deuren zijn ramen. Deze kunnen zijn uitgevoerd met gezandstraald glas of een geïsoleerd paneel die de glasplaat vervangt. Bij passiefhuis-deuren is de onderste drempel geen koudebrug meer.

In Oostenrijk zijn passiefhuis-deuren beschikbaar die gemaakt zijn uit uitsluitend natuurmaterialen, waarbij toepassingen van kunststoffen en schuimen zijn vermeden. De deur is ongeveer 10 cm dik en heeft een U-waarde van 0,77 W/m<sup>2</sup>K (deurblad en kozijn, gemeten overeenkomstig EN 10077).



Figuur 49: Huisdeur met draai-kiep-  
raam.

Leverancier Inefa heeft een combinatie van huisdeur en geïntegreerd draai-kiep-raam, de Dagebüll. De afdichting en inbraakwerendheid zijn perfect geregeld, doordat geen extra hulpprofielen nodig zijn om de verschillende delen op elkaar te laten aansluiten en de stabiliteit van de deur volledig in tact blijft. Dorpel is een 20 mm lage, thermisch geïsoleerde onderdorpel. Met de innovatieve geïntegreerde "ventilatieschaar"

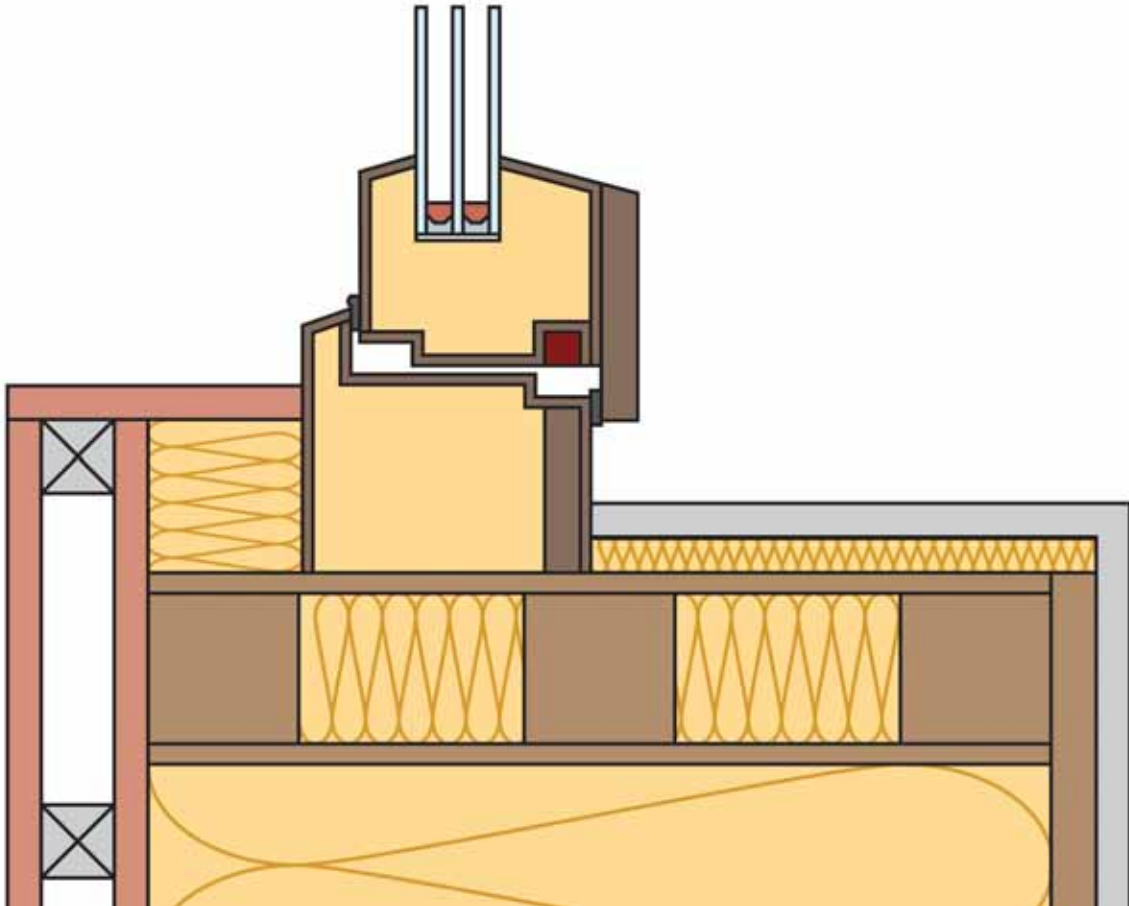
kan de kiep-opening van een draai-kiep-raam worden ingesteld in vele verschillende standen. Dit biedt de mogelijkheid tot zeer nauwkeurig, comfortabel en gebruikersvriendelijk ventileren via de kiepstand.

### Aansluiting kozijn - gevel

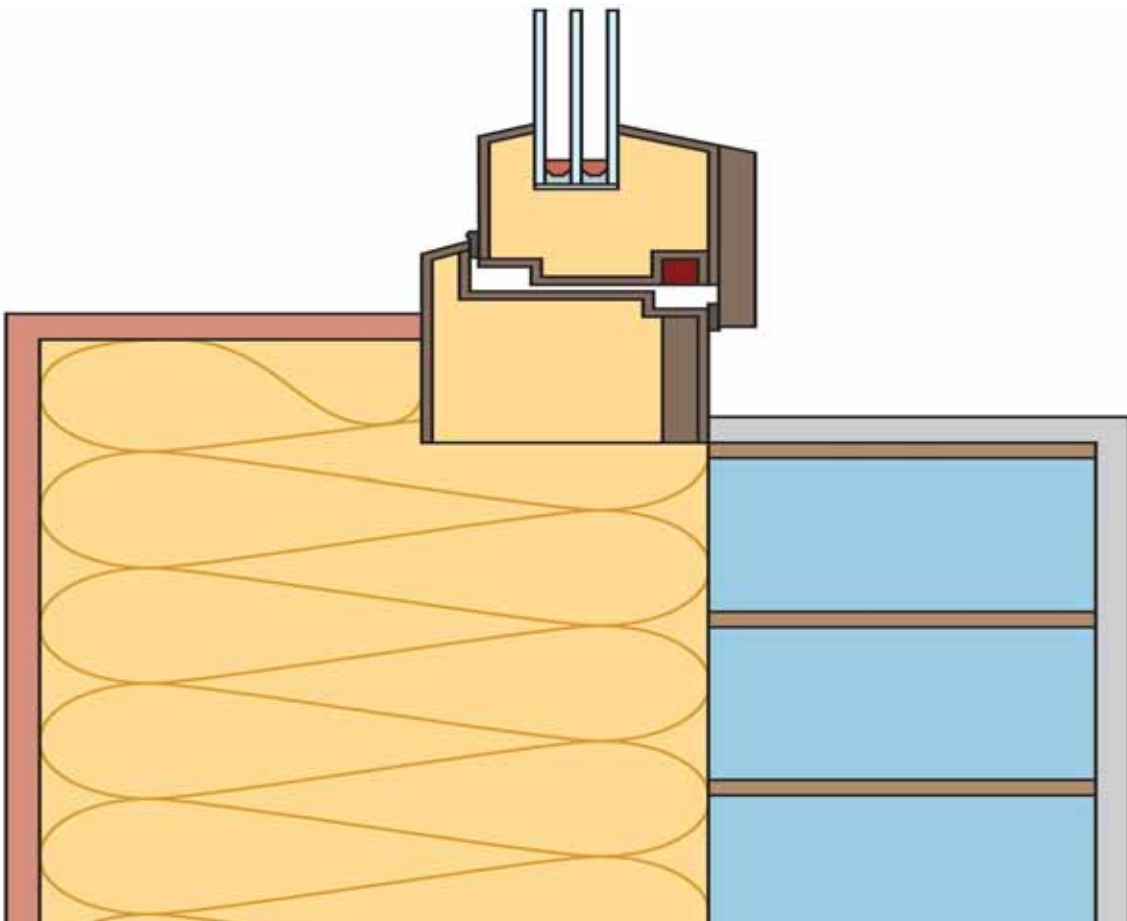
Een raam bestaat niet alleen uit beglazing en een kozijn, maar ook uit een aansluiting op de gevel, en de afstandhouder. Een onderbreking van de thermische isolatie ter plaatse van de aansluiting wordt in de huidige bouwstandaard geaccepteerd. In een passiefhuis is ook deze aansluiting kritisch en zal de aansluiting zonder koudebrug uitgevoerd moeten worden.

De isolatie moet doorlopen van de ene in de andere constructie. Dit wil zeggen dat de isolatie in het raamkader en de isolatie in de wand bij voorkeur in één vlak liggen en dat de isolatie wordt doorgetrokken tot voor het raamkader. Het kozijn wordt dus niet meteen op een dragende, niet-isolerende muur geplaatst maar bijvoorbeeld door middel van inregelbare profielen aan de dragende constructie bevestigd, zodat het kader mooi aansluit op de wandisolatie.

Niettegenstaande de Uw-waarde reeds een beeld geeft van het warmteverlies van de beglazing in specifieke combinatie met de kozijnen, pleit het Duitse Passivhaus Instituut nog voor de invoer van een bijkomende karakteristiek. Deze lineaire warmtedoorgangscoefficiënt drukt het extra warmteverlies uit, veroorzaakt bij de specifieke inbouw van het raam in de wand. Om dit niet onbelangrijke cijfer tot een minimum te kunnen reduceren worden de ramen zo geplaatst dat hun thermische onderbreking zowel in verticale als horizontale doorsnede naadloos aansluit op de doorlopende thermische isolatielaag in de dubbele gevel van de houtskeletbouw. De vaste kaderdelen aan de buitenzijde zijn integraal ingebouwd achter een isolerende slag [Bron: de Koevoet, winter 2003, artikel: 'Koudebruggen opblazen en thermisch isoleren'].



Figuur 50: Details kozijnen.





# Thermisch comfort

Comfort, daar draait het steeds meer om. We zijn van alle gemakken voorzien. Steeds meer apparaten en voorzieningen worden ingezet, die ieder op zich weer leiden tot meer energiegebruik. Energiebesparen is noodzaak, maar voor de meeste mensen is energiebesparen alleen acceptabel als dat niet ten koste van comfort gaat. Voor velen is comfort iets waar men geld voor over heeft. Een passiefhuis laat zien dat comfort en energiebesparing hand in hand gaan. Zo is een passiefhuis zowel in de winter als in de zomer een comfortabele woning. En, mooi meegenomen, met een zeer lage energierekening.

In een passiefhuis is het in de winter gelijkmatig warm in de hele woning, zelfs vlak bij de ramen. Door de goede isolatie zijn de oppervlaktetemperaturen van vloeren, wanden en glas hoog. Er is nauwelijks energie voor verwarming nodig.

In de zomer is het eveneens aangenaam in een passiefhuis. Door de zonwering en overstekken zit je binnen in de schaduw. Door meer of minder ramen open te zetten kun je de temperatuur in de woning 's avonds en 's nachts goed in de hand houden.

De ventilatielucht in een passiefhuis is nooit te koud. De gebalanceerde ventilatie zorgt dat warmte uit de afvoerlucht, wordt overgedragen aan de toevoerlucht. Het openen van ramen in aanvulling, is iets waar bewoners zelf over kunnen beslissen.

In feite zijn passiefhuizen heel eenvoudig om te bewonen. In basis is ventilatie en verwarming geregeld. Al naar gelang men wil, kan men ramen openen. Uit onderzoek blijkt dat mensen, bij lagere buitentemperaturen steeds minder met ramen ventileren, hetgeen letterlijk aansluit bij het passiefhuis-concept. Bij koud weer kunnen de ramen dicht blijven, want er is voldoende basisventilatie. Toch kan een slaapkamerraam op een kier in de winter ook bij een passiefhuis geen kwaad, voor wie dat graag wil.

Bij oplopende buitentemperaturen ventileren mensen in het algemeen graag meer. Ook dat sluit aan bij het passiefhuis-concept: een passiefhuis heeft voorzieningen voor goede ventilatie via ramen en andere - inbraakvrije - voorzieningen. In de zomer draagt ventilatie in de avond en nacht via ramen bij aan het bereiken van een natuurlijk geconditioneerd binnenklimaat en een hoog thermisch comfort.

Een passiefhuis is van alle gemakken voorzien. Comfortabel wonen kan, ook mét lage energierekening.



### 8.1 Inleiding

Passiefhuizen zijn zeer comfortabel in de winter. En ook in de zomer hebben passiefhuizen bewezen zeker zo comfortabel te zijn als conventionele gebouwde woningen. Het is zeer goed mogelijk om een comfortabel binnenklimaat in de zomer te realiseren, mits al in een vroeg stadium tijdens het ontwerp rekening wordt gehouden met zomercomfort. In ieder geval, de zeer goed thermisch geïsoleerde schil maakt het nog gemakkelijker het gebouw koel te houden in de zomer. De temperatuur in de woning wordt meer bepaald door raamgroottes, oriëntatie, beschaduwing, ventilatie, interne warmtelasten etc.

Door de plaatsing van ramen met een hoge ZTA-waarde (en een lage e-waarde en U-waarde) en optimale oriëntatie van de woning, kan passieve zonnearmte maximaal benut worden. Ter voorkoming van oververhitting spelen zonwering en zomernachtventilatie een belangrijke rol. Bij voorkeur wordt zonwering toegepast die de lage winter zon binnenlaat, terwijl in de zomer het raam beschermt wordt om oververhitting te vermijden. Nachtventilatie in zomercondities is het zeer goed ventileren van gebouwen op momenten van de dag waarin de buitenluchttemperaturen lager zijn dan de binnenluchttemperatuur. Zodoende koelt een gebouw gedurende de nacht af naar een laag niveau.



Figuur 51: Passieve zonne-energie in 20 passiefhuizen, Göteborg, Zweden, doorsnede.

De thermische traagheid van het gebouw en het interieur leidt ertoe dat de binnentemperatuur gedurende de dag graden lager blijft dan zonder nachtventilatie het geval is. In combinatie met goede zonweringen minimale ventilatie gedurende de dag is in veel gevallen op energiezuinige wijze een goed binnenklimaat te bereiken.

In Göteborg, Zweden, zijn twintig passiefhuizen gerealiseerd. De woningen zijn ontworpen voor een behaaglijk binnenklimaat met een minimum aan energiegebruik. De zuid-georiënteerde tuingevels hebben grote ramen om optimaal gebruik te maken van zonnearmte. Balkons en overstekken geven bescherming tegen hoge zonnestrallen in de zomer. Dankzij de diepe plattegronden, met 11 meter diepte, zijn de geveloppervlakken beperkt. Deze gevels zijn exceptioneel goed geïsoleerd en luchtdicht. Het dakraam boven het trappenhuis voorziet in daglichttoetreding in het midden van het huis en wordt bovendien gebruikt voor extra ventilatie gedurende de zomer.

## 8.2 Richtlijnen

### Algemene richtlijnen

In het huidige Bouwbesluit zijn eisen met betrekking tot oververhitting niet geformuleerd. Zonwering valt onder verantwoordelijkheid van de bewoner in de gebruiksfase. In de nieuwe epc-rekenmethode wordt echter meer aandacht besteedt aan zonwering. Verondersteld mag worden dat het toepassen van zonwering in de bouwpraktijk vaker zal gaan voorkomen.

### Richtlijnen passiefhuis

De mate van zomercomfort is gedefinieerd als een frequentie van temperatuuroverschrijding boven een bepaalde waarde. De rekenmethode PHPP hanteert een waarde van 25°C. Indien meer dan 10% van alle uren in een jaar de temperatuur overschreden wordt, wordt gesproken over oververhitting. De Toolkit hanteert als richtlijn dat er niet meer dan 100 uur in de zomer oververhitting (temperatuur woonkamer > 25°C) mag optreden. Deze waarde wordt als richtlijn voor Nederlands passiefhuizen gehanteerd.

*Aandachtspunten met betrekking tot oververhitting:*

- Adequate zonwering moet voorkomen dat de zon de woning opwarmt.
- De gewenste ventilatievouden voor zomernachtventilatie liggen in de range van  $n = 4$  en meer.
- Eisen met betrekking tot gevelgeluidwering.
- In de gebruikershandleiding moet duidelijk worden gemaakt hoe omgegaan moet worden met de zomernachtventilatievoorzieningen.



## 8.3 Uitwerking

Bij de uitwerking van het aspect thermisch comfort worden eerst de resultaten beschreven van temperatuuroverschrijdingsberekeningen van een aantal varianten van passiefhuizen. Daarna wordt ingegaan op een aantal voorzieningen ter beperking van hoge binnentemperaturen, zijnde:

- Zonwering.
- Accumulerend vermogen.
- Zomernachtventilatie.

### Temperatuuroverschrijdingen

Om inzicht te krijgen in het thermisch comfort in passiefhuizen, heeft ECN met behulp van simulatiepakket TRNSYS het passiefhuis beoordeeld voor meerdere varianten. De uitgangspunten en resultaten zijn vermeld in het rapport: Simulatie passiefhuis-concept voor Toolkit Duurzame Woningbouw, juni 2006 van ECN. De varianten hebben betrekking op het casco van het passiefhuis:

1. Beton (BTN)
2. Gietbouw (GTB)
3. Houtskeletbouw (HSB)
4. Kalkzandsteen (KZS)

### Warmtebalans

In onderstaande tabel is voor variant 1, beton, de jaarlijkse warmtebalans met de verschillende winst- en verliesposten weergegeven in zowel GJ per jaar als kWh/m<sup>2</sup> per jaar (woning van 123,5 m<sup>2</sup> gebruiksoppervlak).

**Tabel 5: Jaarlijkse warmtebalans variant beton (netto hoeveelheden).**

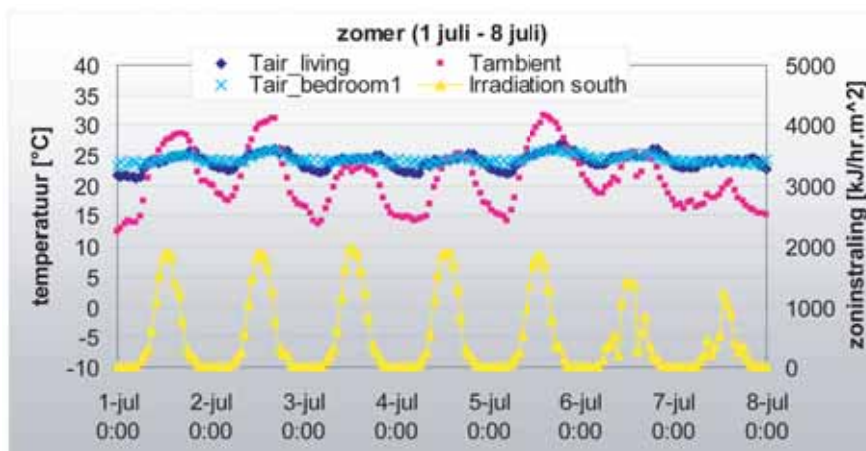
Energie IN	GJ	kWh/m <sup>2</sup>	Energie UIT	GJ	kWh/m <sup>2</sup>
zonbijdrage (passief)	10,1	22,7	infiltratie	1,9	4,2
interne warmte	12,9	29,1	ventilatie	9,5	21,3
verwarming	1,1	2,4	transmissie	12,7	28,6

De warmtevraag voor verwarming, overeenkomstig de passiefhuis-definitie, is volgens de TRNSYS berekeningen 2,4 kWh/m<sup>2</sup>. Dit is aanzienlijk minder dan de 15 kWh/m<sup>2</sup>.

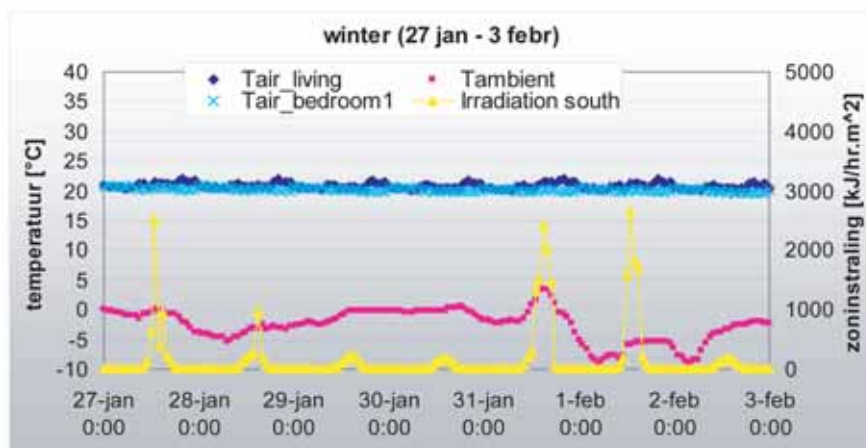
Een verklaring hiervoor is dat gerekend is met een hogere interne warmtelast in TRNSYS in vergelijking met PHPP, namelijk gemiddeld 4,7 W/m<sup>2</sup> ten opzichte van 2,1 W/m<sup>2</sup>.

### Binnentemperaturen

In onderstaande twee figuren zijn de binnentemperaturen in de woonkamer en in één van de slaapkamers (zuidzijde) weergegeven, voor een typische zomerse periode (1 juli tot 8 juli) en een typische winterse periode (27 januari tot 3 februari). In de twee perioden bevinden zich zowel bewolkte als onbewolkte dagen, hetgeen is op te maken uit de eveneens weergegeven zonninstraling (totale instraling op verticaal zuidgericht vlak).



Figuur 52: Binnentemperaturen variant gietbouw voor typische zomerperiode.



Figuur 53: Binnentemperaturen variant gietbouw voor typische winterperiode.

### Effect van maatregelen

Voor deze cascovarianten zijn ook een aantal variaties in 'verkoelende' maatregelen doorgerekend. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de jaarlijkse vraag naar ruimteverwarming en oververhitting per variant.

Tabel 6: Effect variaties in 'verkoelende maatregelen' op prestatie variant betoncasco.

Variant		Ruimteverwarming [GJ/jaar]	Oververhitting [uur/jaar]
a	alleen bypass (geen spui-/nachtventilatie, geen zonwering)	0,8	3206
b	a + spui- en zomernachtventilatie	0,9	43
c	a + zonwering	1,1	2275
d	a + spui- en zomernachtventilatie + zonwering	1,1	18

Het effect van extra ventilatie is relatief groot, enerzijds omdat een belangrijk deel van de energiewinsten de interne warmtelast betreffen (die middels ventilatie deels afgevoerd wordt) en anderzijds omdat er relatief veel extra ventilatie is gehanteerd.

### Effect van cascovarianten

Er zijn geen significante verschillen tussen de behoefte aan ruimteverwarming voor de verschillende varianten, zowel voor wat betreft jaarlijkse vraag als piekvermogen (zie onderstaande tabel). Uitgangspunt is dat bypass op warmteterugwinning, spui- of zomernachtventilatie en zonwering bij alle varianten aanwezig zijn.

Tabel 7: Overzicht van resultaten voor de vier cascovarianten, met uitgangspunten volgens variant d uit tabel 6.

Variant	Ruimteverwarming		Oververhitting
	Vraag [GJ/jr]	Piek [kW]	# uur > 25,5°C
Beton	1,1	0,6	18
Gietbouw (idem beton + HSB binnenblad)	1,1	0,5	20
Houtskeletbouw	1,1	~0,6	97
Kalkzandsteen	1,1	0,5	22



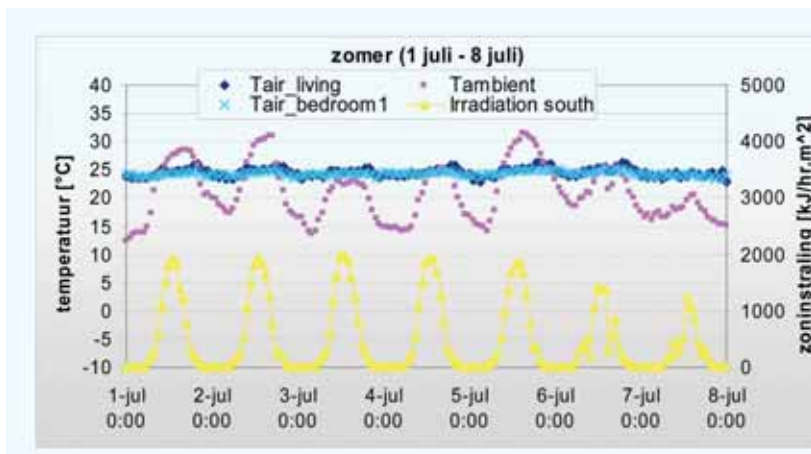


Figuur 56: Overstek passiefhuis Denemarken.

De cascovariant houtskeletbouw heeft 97 uren temperatuuroverschrijding, de overige varianten rond de 20 uur per jaar. Hierbij wordt opgemerkt dat er waarschijnlijk iets te weinig thermische massa in de houtskeletbouw-variant is gemodelleerd (vanwege het weglaten van houten regelwerk in enkele constructiedelen) Het aantal overschrijdingsuren is hierdoor voor deze variant waarschijnlijk overschat.

#### Effect van optimaliseren regelingen

Het ECN-rapport geeft een aantal suggesties voor wijzigingen in de regelingen. Bijvoorbeeld het beter doseren van spuiventilatie om te snelle afkoeling te voorkomen of aan de hand van 'schakelcriteria' een duidelijke volgorde aangeven tussen verschillende opties die oververhitting tegengaan, zoals bypass, zonwering en extra ventilatie. Voor de cascovariant beton zijn deze wijzigingen gemodelleerd en is het effect bekeken. Onderstaand figuur laat het temperatuurverloop zien voor een typische zomerperiode. Het effect van de gewijzigde regelingen is dat de afkoeling in de nacht zichtbaar minder is.



Figuur 54: Binnentemperaturen variant beton met gewijzigde regelingen voor typische zomerperiode.

Het aantal overschrijdingsuren is 21 uur per jaar, ofwel met minder afkoeling in de nacht wordt vrijwel hetzelfde aantal overschrijdingsuren gerealiseerd in deze variant. De vraag naar ruimteverwarming is 1,0 GJ per jaar, met een piekvermogen van 0,6 kW.

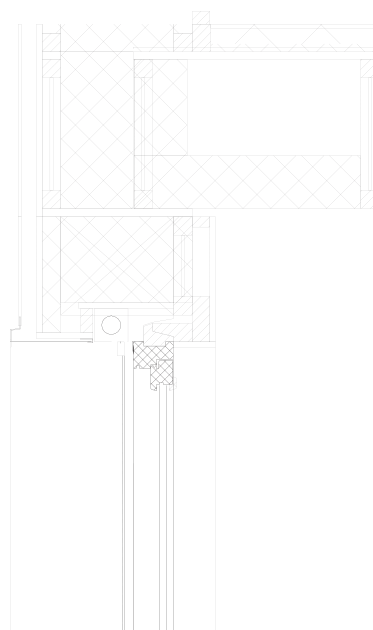
Hieruit wordt geconcludeerd dat met het passiefhuisruimschootsbinnenhetcriterium van maximaal 100 overschrijdingsuren wordt gebleven en dus ook in de zomer een comfortabel binnenklimaat gerealiseerd kan worden.

#### Zonwering

Zonwering is noodzakelijk bij passiefhuizen met glaspartijen op het zuiden. Met luifels en overstekken is een goed binnenklimaat te realiseren. Met behulp van lamellen of screens kan de binnentemperatuur verder geoptimaliseerd worden. Een goed voorbeeld van een in het ontwerp meegenomen zonwering is weergegeven in figuur 55.

#### Thermische massa

Thermische massa speelt eveneens een rol bij binnentemperaturen in de zomer. Het toepassen van veel thermische massa (accumulerend vermogen) beperkt het risico van hoge binnentemperaturen in de zomer. Maar ook met een houten tussenvloer (geringe thermische massa) is een goed binnenklimaat te realiseren. Om het zomercomfort te beheersen is het aanbrengen van zonwering belangrijker dan het aanbrengen van veel massa [Living today, het duurzame huis van vandaag].



Figuur 55: Geïntegreerde zonwering in het passiefhuis-ontwerp.

### Zomernachtventilatie, principes

Een andere manier om hoge binnentemperaturen te beperken, is zomernachtventilatie. Zomernachtventilatie is het 's nachts ventileren met koele buitenlucht om de gebouwconstructie af te koelen en 's ochtends te starten met een lagere binnentemperatuur. Zomernachtventilatie kan op verschillende manieren worden uitgevoerd: natuurlijke toe- en afvoer, mechanische toe- en afvoer en hybride ventilatie.

#### Natuurlijke toe- en afvoer

Om invulling te geven aan het principe van zomernachtventilatie middels natuurlijke toe- en afvoer, moeten 's nachts (grote) delen kunnen worden opengezet (bijvoorbeeld ramen).

#### Mechanische toe- en afvoer

Zomernachtventilatie kan ook met het aanwezige gebalanceerde ventilatiesysteem worden opgelost. Dit betekent wel dat de capaciteit van het ventilatiesysteem voldoende moet zijn om een ventilatievoud van 4 à 5 te kunnen realiseren. Hierbij is het erg belangrijk dat de installatie, ook bij deze grote luchtstromen, erg stil is. Indien de installatie niet stil is, zal geen gebruik worden gemaakt van de mogelijkheid om 's nachts extra te ventileren. Bovendien moet de installatie zijn uitgevoerd met een bypass, zodat koele buitenlucht rechtstreeks, zonder verder opwarmen, in de woning komt.

#### Hybride ventilatie

Een derde manier betreft hybride ventilatie. Hybride staat in dit verband voor een zo optimaal mogelijk samenspel tussen natuurlijke toevoer via de gevel en een afvoersysteem met, alleen wanneer nodig, de ondersteuning van een mechanische afzuiging. Een dergelijke ontwikkeling was niet mogelijk geweest zonder de introductie van zelfregelende ventilatieroosters. Bij een passiefhuis wordt echter uitgegaan van een gebalanceerd ventilatiesysteem. Zelfregelende roosters in de gevel zijn niet aanwezig. Dit principe van hybride ventilatie wordt daarom niet toegepast.

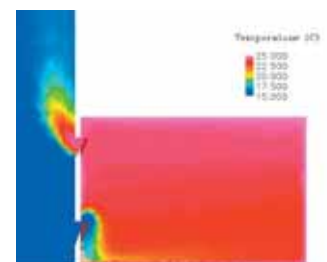
### Zomernachtventilatie en geluid

Belangrijk aandachtspunt is geluid. Door grote openingen in de gevel kan geluid van buiten ongehinderd binnenkomen. Het risico bestaat dat bewoners de voorzieningen voor nachtventilatie niet gebruiken indien zij overlast ervaren van geluid, bijvoorbeeld bij woningen gelegen aan drukke wegen.

Het Bouwbesluit stelt eisen aan de geluidwering van de uitwendige scheidingsconstructie (gevel). De uitwendige scheidingsconstructie van een gebruiksfunctie heeft een karakteristieke geluidwering, van minimaal 20 dB(A). Principe is dat de basisventilatie moet zijn gegarandeerd (bij toepassing van ventilatieroosters in de gevel, wordt gemeten in geopende toestand). Overige ramen en deuren (en dus ook de voorzieningen voor nachtventilatie) zijn gesloten.

Met betrekking tot het passiefhuis kan worden geconcludeerd dat voldaan wordt aan de minimumeisen voor basisventilatie in de vorm van het gebalanceerde ventilatiesysteem. De te openen delen ten behoeve van nachtventilatie maken geen onderdeel uit van de basisventilatie. Indien de luiken voor nachtventilatie dusdanig goed worden uitgevoerd (let op kierdichting) dat in gesloten toestand kan worden voldaan aan de minimumeisen van de gevelgeluidwering, worden op dit punt geen problemen verwacht.

Een probleem of discussie kan ontstaan indien de voorzieningen voor nachtventilatie noodzakelijk zijn om een behaaglijk binnenklimaat te realiseren, bijvoorbeeld om de temperatuuroverschrijdingen in de woning binnen bepaalde grenzen te houden. Mogelijke oplossing: toon aan dat een passiefhuis, zonder zomernachtventilatievoorzieningen, kan voldoen aan algemene richtlijnen met betrekking tot behaaglijkheid. Het toepassen van zomernachtventilatievoorzieningen betekent in dat geval extra comfort en is geen sprake van een noodzakelijke voorziening.



Figuur 57: Luchtstroming zomernachtventilatie (CFD simulatie).

### Zomernachtventilatie, woonkamer

Ter illustratie van de benodigde ventilatieopeningen, zijn een aantal varianten berekend. Hierbij is uitgegaan van de volgende voorzieningen voor nachtventilatie:

- Een ventilatievoud van 4 tot 5 h<sup>-1</sup>.
- Inbraakveilige voorziening.
- Voorzieningen ten behoeve van de woonkamer.
- Ventilatievoorziening: geheel te openen geïsoleerd luik (> 90° te openen), horregaas afgeschermd door lamellen paneel.

Drie varianten zijn bekeken: ventilatie via één gevel, ventilatie via twee gevels (dwarsventilatie) en ventilatie via gevel en dak. De resultaten van deze varianten zijn in onderstaande tabel opgenomen.

**Tabel 8: Varianten zomernachtventilatie.**

Openingen	Effect	Voorziening	Afmetingen bij n = 4h <sup>-1</sup>	
			Anetto [m <sup>2</sup> ]	Abruto [m <sup>2</sup> ]
in 1 gevel	risico van kortsluiting	toe- en afvoer, totaal	2,32	4,64 (1)
in voor- en achtergevel (voorkeur)	dwarsventilatie	voor- en achtergevel, totaal	0,58	1,16 (1)
		overstroomvoorziening	nodig indien tussendeur aanwezig	
in gevel en dak	thermische trek	gevel	0,58	1,16 (1)
		overstroomvoorziening	0,14	0,14 (3)
		dak	0,58	2,32 (2)

(1): ventilatievoorziening: geheel te openen geïsoleerd luik (> 90° te openen), horregaas afgeschermd door lamellen paneel

(2): uitzetraam met uitzetmaat 15°

(3): volledig te openen, dus geen reductie

Het toepassen van openingen in één gevel resulteert in het aanbrengen van grote openingen. Voorzieningen ter grootte van een deur moeten voor toe- én afvoer worden gerealiseerd. Veel gunstiger is het aanbrengen van voorzieningen in twee tegenover elkaar liggende gevels óf in een gevel en in een dak (thermische trek). Het benodigde oppervlak is een

factor vier kleiner. Het toepassen van een overstroomvoorziening ter plaatse van een tussendeur bij de trap is niet altijd wenselijk. De tussendeur openzetten evenmin (bijvoorbeeld bij aanwezigheid van een hond).

De doorlaat van de zomernachtventilatie: geïsoleerd luik, horregaas afgeschermd door lamellen paneel, is maximaal 50%. De bruto openingen dienen daarom 2x zo groot te zijn. Opgemerkt wordt dat 50% wellicht nog een gunstige aanname is. Indien de doorlaat minder is dan 50%, betekent dit dat het te openen deel groter moet worden uitgevoerd.

Achterliggende berekening tabel zomernachtventilatie:

- $qv = A_{netto} \cdot v \cdot 1000$  [dm<sup>3</sup>/s].
- Bij spui openingen in 1 gevel geldt:  $v = 0,1$  m/s; bij dwarsventilatie of thermische trek  $v = 0,4$  m/s.
- Woonkamer, inhoud:  $40 \text{ m}^2$  (vloeroppervlak) \*  $2,6$  m (hoogte) =  $104 \text{ m}^3$ .
- Ventilatievoud 4 =  $416 \text{ m}^3/\text{h} = 116 \text{ dm}^3/\text{s}$ ; Ventilatievoud 5 =  $520 \text{ m}^3/\text{h} = 145 \text{ dm}^3/\text{s}$ .

Benodigde afmetingen bij ventilatievoorziening bestaande uit geheel te openen geïsoleerd luik (> 90° te openen), horregaas afgeschermd door lamellen paneel:

- Ventilatievoud van 4: Anetto  $0,58 \text{ m}^2 = \text{Abruto} \pm 1,16 \text{ m}^2$ , bijvoorbeeld  $1,08 \times 1,08 \text{ m}^2$  of  $2,3 \times 0,5 \text{ m}^2$ .
- Ventilatievoud van 5: Anetto  $0,725 \text{ m}^2 = \text{Abruto} \pm 1,45 \text{ m}^2$ , bijvoorbeeld  $1,20 \times 1,20 \text{ m}^2$  of  $2,3 \times 0,65 \text{ m}^2$ .



### **Tunnelgietbouw, zomernachtventilatie**

Voor zomernachtventilatie wordt uitgegaan van het principe van dwarsventilatie, bestaande uit:

- Toevoer van nachtventilatie in de achtergevel, begane grond (woonkamer).
- Geen overstroomvoorziening (let op: indien een gesloten keuken wordt toegepast zijn aanvullende maatregelen nodig!).
- Afvoer van nachtventilatie in de keuken.

### **Zomernachtventilatie, slaapkamer.**

Ten behoeve van extra ventilatie in de slaapkamer kan worden uitgegaan van een kiep-tuimel-raam. In de zomer zal minimaal de kiepstand gebruikt moeten kunnen worden, zonder dat dit wordt belemmerd door gordijnen die dicht zijn. Als afvoervoorziening kan worden gedacht aan een te openen raam in het dak (dus gebruik maken van thermische trek). Uitgangspunt hierbij is dat de slaapkamerdeuren openstaan (en daarmee als overstroomvoorziening voldoende capaciteit hebben).

Bij het passiefhuis is sprake van dikke gevels. Kozijnen liggen idealiter in het midden van deze dikke muur. Per definitie is dus geen extra ruimte aanwezig voor het openen van het raam binnen de gevel bij gesloten gordijnen.

Echter, in een variant waarbij het kozijn meer aan de buitenzijde is geplaatst, zoals bij toepassing van extra binnengevelisolatie, zonder verplaatsing van het kozijn, ontstaat wel voldoende ruimte voor het openen van het raam in de kierstand bij gesloten gordijnen.



Figuur 58: Te openen luik ten behoeve van zomernachtventilatie.



# Ventilatie

Een passiefhuis kent geen ongewenste luchtlekken, anders worden de uitgangspunten niet gehaald. Dat impliceert dat we goed moeten ventileren en die goede ventilatie moeten we energetisch verantwoord inrichten. Als we de twee luchtstromen voor de luchtverversing bij elkaar brengen in één toestel kan er meer dan 95% van de thermische energie in de uitgaande lucht binnen gehouden worden. Zo verversen we optimaal lucht, en houden we bijna alle warmte binnen.

Dat werkt in de zomer ook en we houden op deze manier juist de koelte binnen. Als de ramen en deuren op een mooie zomerdag open staan warmt de woning langzaam op. Behalve wanneer het buiten koeler is dan binnen (in de koele zomernacht). Daarom is veelal een bypass langs de warmteterugwinning aangebracht, om de woning in de nacht sneller af te koelen. Dit noemen we nachtkoeling. Dat kost geen extra energie. Een passiefhuis kent bovendien te openen ramen waarmee in voor- en najaar en op zomeravonden kan worden geventileerd, zonder afbreuk te doen aan de energiezuinigheid en juist een goed comfort te bereiken.

Het verdient de voorkeur om de verse buitenlucht voor te verwarmen, door middel van aardwarmte bijvoorbeeld. Dat is een duurzame manier om het rendement van de warmteterugwinunit ook als het streng vriest optimaal te houden. De moderne toestellen hebben al deze mogelijkheden in zich. Ze zijn klaar voor toepassing in passiefhuizen.

Maar daar gaat het niet alleen om de toestellen. Daar gaat het om de samenstelling van alle componenten die samen het passiefhuis vormen. Er is dan ook in de ventilatiewereld een visie ontwikkeld waar uitgegaan wordt van de stelling dat energie verbruikende systemen in passiefhuizen zoveel invloed op elkaar uitoefenen dat we ze het beste integraal kunnen worden ontworpen. Dat wil zeggen dat waar de ene techniek energetisch niet zo goed scoort de andere wellicht een bijdrage kan leveren. De multifunctionele toestellen zoals bijvoorbeeld de Combifor en de latere Optifor van AGPO/J.E.StorkAir brengen de energetische voordelen van verwarmingsketel en warmteterugwinning integraal bij elkaar. Het verleden heeft aangetoond dat deze integrale aanpak in de toestellenbouw heeft gewerkt. Naar de toekomst moeten we dit soort technieken veel meer de ruimte geven. Niet alleen bij de toestellenbouw maar ook vooral de gehele installatie in de woning. Evenals integraal denken tijdens het ontwerp van de woning. Het is beter een dakoverstek en zomernachtventilatie te maken dan 30 jaar lang in de zomers te koelen. Zo zijn er talloze voorbeelden. De industrie, de installatiewereld en de bouw moeten gaan samenwerken om dit soort ontwikkeling mogelijk te maken. Daarvoor moeten heel veel barricades worden beslecht.

Welnu in de woningbouw kunnen we de aansluiting van de woning bij het gebruikspatroon van haar bewoner met een goed functionerende installatie realiseren. De technische installatie die in aansluiting op het woningontwerp het binnenmilieu verzorgt wordt dan essentieel voor de leefbaarheid van de woning. Deze benadering vraagt wel om een brede integrale aanpak, waarvoor we staan naar de ons naderende toekomst.

## Ab de Graaff J.E.StorkAir

## 9.1 Inleiding

In passiefhuizen wordt een gebalanceerd ventilatiesysteem toegepast. Passiefhuizen hebben een constante aanvoer van verse lucht om het comfort van de gebruikers hoog te houden. Een warmtewisselaar wordt gebruikt om de verse binnenkomende lucht te verwarmen met de warmte uit de lucht die naar buiten wordt afgevoerd. Hierbij wordt minimaal 90% van de warmte teruggewonnen zonder de twee luchtstromen te mengen. Met de huidige technieken is een warmteterugwinunit met een temperatuurrendement tot 95% haalbaar.

Goede binnenluchtkwaliteit is van essentieel belang voor de bewoners van een woning. Binnenluchtkwaliteit wordt sterk beïnvloed door de hoeveelheid verse luchttoevoer in de woning. Deze verse lucht vervangt oude lucht, die (biologische) vervuiling, overmatig vocht en vluchtige organische verbindingen (afkomstig van bijvoorbeeld bouwmaterialen, tapijt en meubilair) bevat. Tengevolge van de extreme luchtdichting van passiefhuizen, moet veel aandacht besteed worden aan het ventilatievoud die in de woning bereikt wordt. Verder moet aandacht besteed worden aan het geluidsniveau dat door het installatiesysteem geproduceerd wordt. Tengevolge van het hoge isolatieniveau van de woning, is het achtergrondniveau van buitengeluid laag. De woning is hierdoor gevoeliger voor geluid in de woning.

## 9.2 Richtlijnen

### Algemene richtlijnen

Het Bouwbesluit stelt de volgende eisen aan de ventilatiecapaciteit van een woning, zie tabel 9.

- De te installeren capaciteit van ventilatiesystemen wordt gedimensioneerd op basis van eisen in het Bouwbesluit. Twee veelkomende ventilatiesystemen zijn:
- Natuurlijke toevoer en mechanische afzuiging in keuken, toilet en badkamer met volgens Bouwbesluit vereiste minimum debiet. Een drietandenschakelaar in de keuken voor regeling afzuigventilatie.
- Gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning. Van de huidige nieuwbouw woningen wordt ca. 50% uitgevoerd met een gebalanceerd ventilatiesysteem.

Tabel 9: Eisen ventilatie volgens Bouwbesluit.

Ruimte	Eis
Verblijfsgebied	> 0,9 dm <sup>3</sup> /s per m <sup>2</sup> vloeroppervlakte met een minimum van 7 dm <sup>3</sup> /s
Verblijfsruimte	> 0,7 dm <sup>3</sup> /s per m <sup>2</sup> vloeroppervlakte met een minimum van 7 dm <sup>3</sup> /s
Toiletruimte	> 7 dm <sup>3</sup> /s
Badruimte	> 14 dm <sup>3</sup> /s
Keuken	> 21 dm <sup>3</sup> /s (opstelplaats maximaal 15 kW)
Meterruimte	> 2 dm <sup>3</sup> /s per m <sup>3</sup> netto inhoud van de meterruimte, met een minimum van 2 dm <sup>3</sup> /s

### Richtlijnen passiefhuis

Het ventilatiesysteem in een passiefhuis betreft een gebalanceerd ventilatiesysteem met warmterugwinning die woning voorziet van voldoende permanente ventilatie, bij een laag energieverbruik en een laag geluidsniveau. Om warmteverlies te vermijden, dienen de ventilatiekanalen geïsoleerd te zijn. Aanvullend zijn voorzieningen aanwezig ten behoeve van zomernachtventilatie waarmee een hoger ventilatievoud gerealiseerd kan worden.

Het GIW heeft per juli de eisen aangescherpt naar 30 dB (A). In passiefhuizen wordt geadviseerd 25 dB (A) na te streven.

*Aandachtspunten met betrekking tot het ventilatiesysteem zijn:*

- Geluidsniveau van de installatie.
- Regelmatige vervangen van luchtfilters.

## 9.3 Uitwerking

### Ventilatiesysteem

Essentieel voor het bereiken van de passiefhuis-standaard is het toepassen van een gebalanceerd ventilatiesysteem met warmterugwinning. Aandachtspunten bij het ventilatiesysteem zijn:

- Vaststellen van gewenst drukverlies over de installatie, met als doel geluidarm en energiezuinig functioneren.
- Vaststellen van maximaal acceptabel geluidniveau, in de wetenschap dat de geluidisolatie van buiten naar binnen erg goed is.
- Vaststellen van ontwerp oplossingen voor ingestorte kanalen die voldoen aan bovenstaande criteria.

Luchtkanalen moeten zo goed mogelijk geïsoleerd worden en zo kort mogelijk zijn. Hierdoor verbeteren de prestaties van het systeem. Voorbeelden van isolatiedikten voor luchtkanalen variëren van > 6 cm tot > 10 cm. De warmterugwinunit kan binnen of buiten de thermische schil worden geplaatst. In ieder geval moet de unit zo dicht mogelijk bij de thermische schil geplaatst worden, waardoor koude luchtkanalen in de woning beperkt blijven. De warmteverliezen vanuit de kanalen kunnen een aanzienlijke

invloed hebben op de efficiëntie van de warmterugwinning. De thermische isolatie van de koude luchtkanalen die zich binnen de thermische schil bevinden, moeten dampdicht geïsoleerd worden om condensatie op het kanaal te voorkomen [Bron: handboek PHPP].

### Geluidsniveau installatie

Geluid dat door een ventilatiesysteem geproduceerd wordt, moet in een passiefhuis zoveel mogelijk worden beperkt. Het is echter moeilijk om een systeem te vinden dat (praktisch) geluidloos werkt. Wel zijn er enkele technieken om het geluidsniveau laag te houden:

1. Ronde kanalen gebruiken in plaats van rechthoekige. Nadelen zijn: lastig vanwege het instorten in de vloeren en de benodigde afmetingen (rond 125 mm minimaal).
2. Afzonderlijke kanalen aanleggen naar iedere ruimte. Het is gebruikelijk om één kanaal te plaatsen met afsplitsingen naar de ruimtes. Omdat dit ene kanaal voor de luchtverversing van alle ruimtes moet zorgen, moet de luchtsnelheid ook hoog zijn. Dit veroorzaakt extra geluid. Door het aanleggen van afzonderlijke kanalen, kan de luchtsnelheid laag blijven. Nadeel van meerdere kanalen is, dat waarschijnlijk aanpassingen nodig zijn in de te storten vloeren en het overige leidingenplan.
3. Warmterugwinunit plaatsen in een afgesloten ruimte.

Om een passend systeem voor passiefhuis samen te stellen is het nodig om te bepalen wat het maximale geluidsniveau mag zijn.







### **Tunnelgietbouw, ventilatievoorzieningen**

*In de W&R referentiewoning is het relatief eenvoudig om een aparte ruimte op zolder te maken waarin de warmteterugwinunit kan worden geplaatst. Deze ruimte kan tevens worden gebruikt voor de overige installatietechniek en eventueel wasmachineopstelling. De aparte ruimte zal een aanzienlijke geluidsreductie opleveren in de rest van de woning aangezien de warmteterugwinunit vrij veel geluid maakt.*

*De toe- en afvoerventilatiekanalen naar de warmteterugwinunit zijn standaard geïsoleerd. Echter, de toevoer (kouder) leiding is het langst. Dit zou wellicht iets aangepast kunnen worden, echter hierbij moet rekening worden gehouden met de rookgasafvoer en mag geen kortsluiting ontstaan tussen toe- en afvoer.*

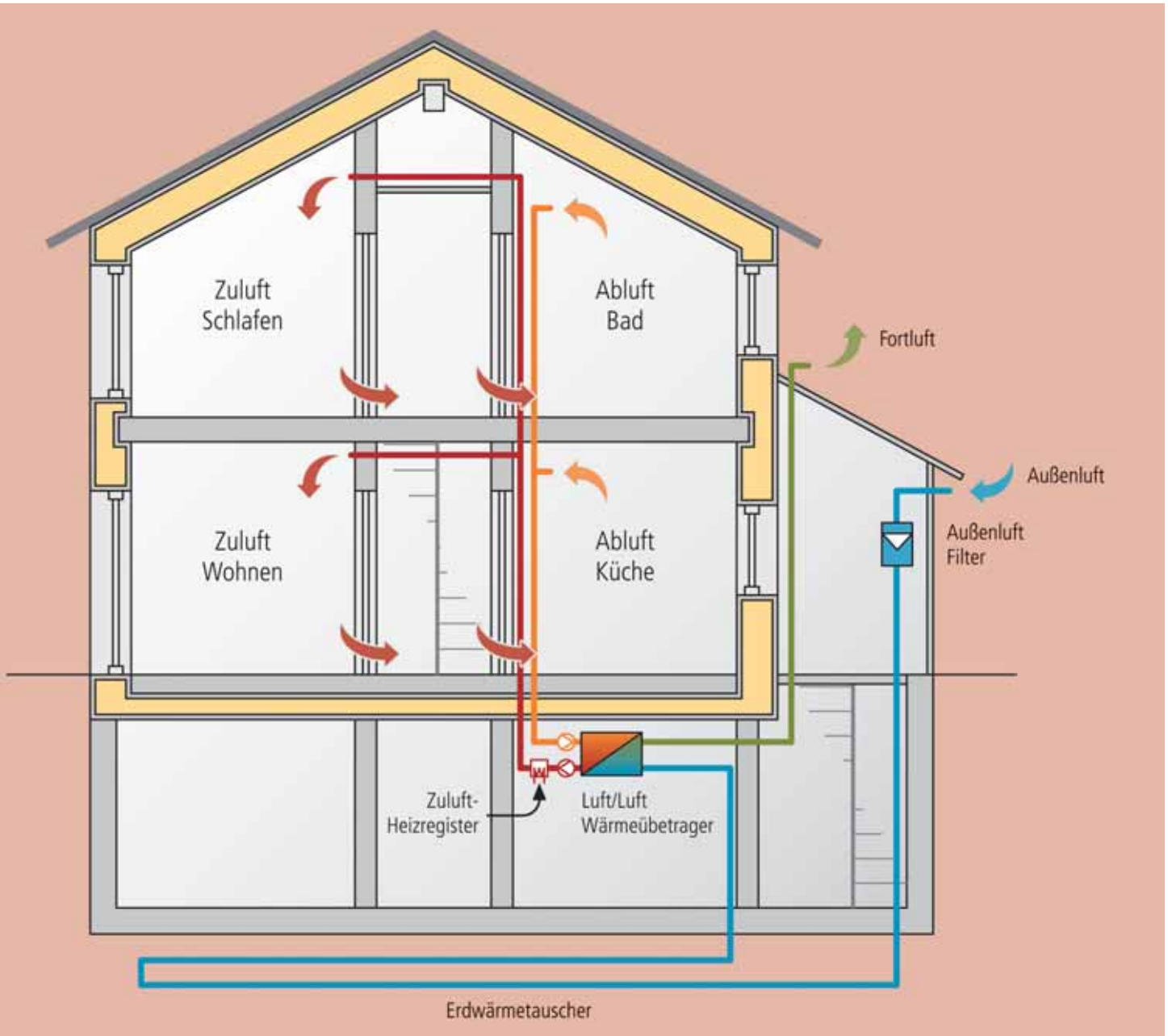
*Voorstel toe te passen ventilatiemaatregelen [Bron: Technisch Adviesbureau Krone]:*

- *Gebalanceerde ventilatie, WTW met rendement volgens leverancier van 97% (rekenwaarde in PHPP ligt ongeveer 12% lager). Installatie zeer geluidsarm en voldoende capaciteit.*
- *Geluidempers.*
- *Geluidsarme ventielen.*
- *Ruime kanalen.*
- *Overspraakdemers.*
- *Toevoer minimaal 14 dm<sup>3</sup>/s in 2-persoons slaapkamers in middenstand bij weinig geluidsproductie.*
- *Kanalen niet instorten, maar alleen in schachten en eventueel in verlaagde plafonds in verkeersruimte.*

### **Ontwikkelingen ventilatiesystemen**

StorkAir is bezig met de ontwikkeling van een warmteterugwinunit met een lager geluidsniveau en lager energieverbruik door de toepassing van nieuwe ventilatortechnieken. Het is niet exact bekend wanneer dit nieuwe systeem is uitontwikkeld. Een andere ontwikkeling is een ventilatiesysteem met een centrale verdeelunit. Hierop worden kunststof kanalen aangesloten, voor iedere ruimte een apart kanaal. Voordeel is de eenvoudige verwerking (lees: instorten van de kanalen) door de flexibele kanalen. Tevens is de ventilatie per ruimte beter op de behoefte af te stellen. Nadeel is dat de kanalen makkelijker vervuild raken door ophoping van stof. Dit systeem wordt overigens in het buitenland al veelvuldig toegepast.

Brink Klimaattechniek heeft een nieuw gebalanceerd ventilatiesysteem met warmteterugwinunit waarbij een kleine (elektrische) verwarmingsunit direct na de warmteterugwinunit in de luchttoevoer wordt geplaatst. Deze kan de lucht verder voorverwarmen. In principe betekent dit een luchtverwarmingssysteem. De verwarmingsunit heeft een vermogen van zo'n 500 Watt. Dit zou een mogelijkheid zijn voor passiefhuis maar dient verder uitgezocht te worden.





# Installaties verwarming en warm tapwater

Een ontwerp van een passief huis zal in mijn beleving altijd moeten zijn gebaseerd op een ultieme interactie van bouwkundige maatregelen en installatie voorzieningen. Ik woon sinds 1980 in een zelf gebouwd comfortabel passief huis en heb met mijn gezin de eerste jaren de leercurve mogen doorlopen.

Passiefhuizen zijn kritisch op het niveau van comfort en vereisen een uitgebalanceerde installatie om het wooncomfort aspect volop te benutten. Naarmate het bouwkundig ontwerp beter is afgestemd om de seizoenen te kunnen hanteren, zal de installatie eenvoudiger kunnen zijn. Dit geeft al aan dat er niet een optimaal installatieconcept zal zijn als de architectuur geen rekening houdt met fysische aspecten.

Het zware accent van het ventilatiesysteem op de comfortbeleving en de beperkte mogelijkheden om via een ventilatie/verwarmingsysteem eenvoudig per vertrek te regelen en te verwarmen (of koelen), kunnen reden zijn om extra voorzieningen aan te brengen. Dat kan in de vorm van extra vloer/wand verwarming of met wat andere lokale verwarming. De ultieme duurzame energie oplossing met een gecombineerd systeem op basis van thermische zonne-energie, warmtepompen en pv is niet alleen de beste energetische oplossing, het kan ook het meest comfortabel zijn indien we ermee verwarmen, ventileren, eventueel koelen en het tapwater bereiden.

We moeten echter oppassen voor te complexe installatieconcepten. Keep it simple, but the devil is in the detail. Er is maar weinig nodig, maar wat er nodig is moet kloppen en afgestemd zijn op het integrale ontwerp.

Met dat in gedachte zijn passieve huizen het toppunt van wooncomfort.....en ik kan het weten.

## Teun Bokhoven ConSolair BV

# Installaties verwarming en warm tapwater

## 10.1 Inleiding

Tijdens het grootste deel van het jaar zorgen de passiefhuis-maatregelen ervoor dat de woning op kamertemperatuur blijft zonder een verwarmingssysteem te gebruiken. Om tijdens alle omstandigheden een aangenaam binnenklimaat in het passiefhuis te bewerkstelligen, bijvoorbeeld bij extreme buitencondities, is een verwarming van geringe capaciteit nodig om in de geringe warmtevraag te voorzien. De maximale warmtevraag bedraagt in extreme omstandigheden nauwelijks 10 W/m<sup>2</sup>. Dit wil zeggen dat een woning kan worden verwarmd met het vermogen van een strijkijzer (1.000 à 2.000 W). Mogelijkheden zijn een naverwarmer in de ventilatietoeverlucht of een lage temperatuur verwarmingssysteem.

Zoals de meeste woningen, heeft het passiefhuis een systeem voor tapwaterverwarming nodig. Evenals voor ruimteverwarming, is het belangrijk dat het systeem voor tapwaterverwarming energie-efficiënt is, en/of een beperkte capaciteit heeft die aan de eis voldoet. In het algemeen wordt in een passiefhuis de bron voor het tapwaterverwarmingssysteem gecombineerd met die voor het ruimteverwarmingssysteem, bijvoorbeeld thermische zonne-energie middels zonnecollectoren. De installatiekeuze wordt veelal gedomineerd door de warm tapwatervraag.



## 10.2 Richtlijnen

### Algemene richtlijnen

Bij een epc 0,8 woning wordt vaak uitgegaan van HR-ketel met radiatoren en/of met vloerverwarming.

### Richtlijnen passiefhuis

Een passiefhuis heeft een jaarlijkse warmtevraag van 15 kWh/m<sup>2</sup> of minder voor ruimteverwarming. Dit stemt overeen met 1,5 m<sup>3</sup> gas of 1,5 liter stookolie per m<sup>2</sup> vloeroppervlakte. Bij een huidige nieuwbouwwoning is meer dan vijf keer zoveel.

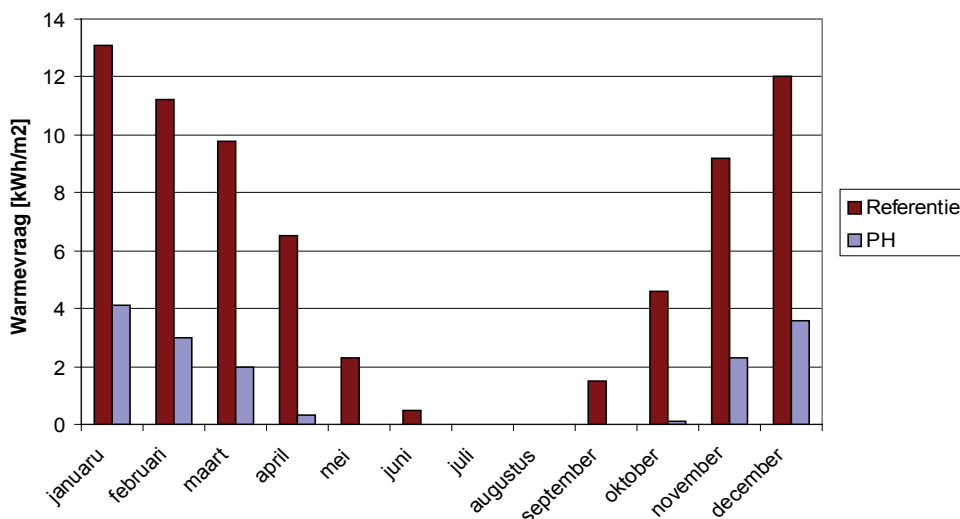
## 10.3 Uitwerking

### Ruimteverwarming

Een basisprincipe van het passiefhuis is dat de uiteindelijke warmtebelasting gedragen kan worden door het ventilatiesysteem. Door de ventilatielucht (ongeveer 150 à 250 m<sup>3</sup> lucht per uur) 20 à 30 °C op te warmen, kan zelfs bij extreme buitencondities de woning op een comfortabele temperatuur gehouden worden. De uitgangstemperatuur van de lucht is maximaal 52°C. Het debiet van het ventilatiesysteem bepaalt de capaciteit van de 'verwarming'. Mogelijk moet het ventilatiedebiet hierop aangepast worden of moet voorzien worden in een additioneel verwarmingssysteem in de woning. Het voordeel van na-verwarming van ventilatielucht is dat geen additionele infrastructuur nodig is om de warmte te dragen. Een andere mogelijkheid is het installeren van lage temperatuur radiatoren. Wat deze systemen gemeenschappelijk hebben, is een geringe vereiste capaciteit.

Onderstaand een vergelijking van de energievraag van een passiefhuis en een referentiewoning (epc 0,8, zoals opgenomen in 'Regeleffecttoets aanscherping epc woningen' – mei 2005 – DHV).

### Maandelijks warmtevraag



Figuur 59: Maandelijks warmtevraag berekend met PHPP.

De energievraag van een passiefhuis bestaat voornamelijk uit warm tapwater en huishoudelijke apparatuur, en voor een klein deel uit ruimteverwarming. Dat betekent dat de installatiekeuze voor verwarming feitelijk gedomineerd wordt door de warm tapwatervraag en dat de ruimteverwarming als afgeleide moet worden opgevat. Vanuit deze redenering zijn er opties op basis van zonne-energie en gas, en opties op basis van elektriciteit. Oplossingen die in passiefhuizen toegepast zijn, zijn:

- Warmtepomp met warmte uit de bodem en zonnecollectoren (1-2 m<sup>2</sup> collectoroppervlakte per persoon) en/of gasketel gecombineerd met kleine centrale lage temperatuur vloerverwarming.
- Kleinebiomassaketelenzonnecollectoren ten behoeve van centrale lage temperatuur wandverwarming; zonnegas-combiketel ten behoeve van warm water-batterij in het ventilatiesysteem dat de ventilatie lucht verwarmt.

- Stadsverwarming (water) en zonnecollectoren die warmte leveren aan ventilatielucht en één radiator in badkamer; warm tapwateropslag wordt verwarmd middels zonnecollectoren en/of stadsverwarming.

#### Installatievarianten

Er zijn diverse manieren om invulling te geven aan het passiefhuis-concept. Onderstaand worden een aantal installatievarianten geschetst. Omdat in Nederland woningen veelal op het gasnet zijn aangesloten is een installatievariant geschetst gebaseerd op de conventionele HR-ketel. Het systeem bestaat uit een HR-ketel in combinatie met een luchtverwarmingsunit (verwarming van de ventilatielucht), een zonnecollector met buffervat, een warmtewisselaar op het douchewater en een HR-warmteterugwinunit op de ventilatielucht.

Verdere ontwikkeling en optimalisering van de ketel in verband met de lage warmtevraag is wellicht mogelijk. Belangrijke voordelen van dit passiefhuis-concept zijn de besparingen op radiatoren en/of vloerverwarming, de lagere kosten ten opzicht van warmtepompen, de relatieve eenvoud en bekendheid met het systeem. Naast deze variant zijn er nog verschillende concepten te bedenken, zie tabel met resultaten:

*Gasconcepten:* 1: Zonnegas-combi en warmteterugwinning; 2: Gaswarmtepomp en warmteterugwinning; 3: Micro warmtekracht en warmteterugwinning.

*Elektriciteitconcepten:* 4: Combinatie van kleine warmtepomp met voorraadvat en warmteterugwinning.

#### **Bepalen warmtevraag**

Voor het bepalen van het totale energieverbruik van een rij woningen, is de warmte-uitwisseling tussen twee aan elkaar grenzende woningen te verwaarlozen. Rekenen met een gelijke ruimtetemperatuur in beide woningen is acceptabel omdat een warmteverlies in de ene woning een warmtewinst is in de andere woning. Echter, wanneer de warmtebelasting bepaald wordt, moet ook de warmtestroom tussen twee woningen in acht genomen worden. Een woning moet continue voldoende warm zijn, ook wanneer de burens de verwarming uit hebben staan of op vakantie zijn. In PHPP wordt daarom voor het bepalen van de warmtebelasting van de woning gerekend met een temperatuur verschil van 3°C.

Tabel 10: Energievraag bij verschillende concepten.

EPC o,8		e-vraag	Eis = 15	gasverbruik	electriciteit	primair	Penetratie-	prim*penetr	Eis=120	CO <sub>2</sub>
vloeroppervlak [m <sup>2</sup> ]	123,5	[kWh]	kWh/m <sup>2</sup>	[m <sup>3</sup> gas]	[kWh]	[kWh prim.]	graad	[kWh prim.]	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2</sub> ]
Ruimteverwarming										
HR		5558	45	500		5.502	100%	5.502	45	890
Warm tapwater										
HR		3000		260		2.860	100%	2.860	23	463
Koken										
	gas			65		715	100%	715	6	116
Installatie										
wtw, pompen	electriciteit	600			600	1.626	100%	1.626	13	334
Huishoudelijke apparatuur										
wasdroger	C-klasse	600			600	1.626	59%	951	8	334
wasmachine	electriciteit	231			231	626	98%	612	5	128
vaatwasmachine	electriciteit	305			305	827	40%	326	3	170
overig	electriciteit	2539			2.539	6.880	100%	6.880	56	1.412
Totaal				825	4.275	20.662		103.015	158	3.846

Zonne-gas combi		e-vraag	Eis = 15	gasverbruik	electriciteit	primair	Penetratie-	prim*penetr	Eis=120	CO <sub>2</sub>
vloeroppervlak [m <sup>2</sup> ]	123,5	[kWh]	kWh/m <sup>2</sup>	[m <sup>3</sup> gas]	[kWh]	[kWh primair]	graad	[kWh prim.]	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2</sub> ]
Ruimteverwarming										
zonne-gas combi	90% gas, 10% zon	1852,5	15	167		1.834	100%	1.834	15	297
Warm tapwater										
zonne-gas combi	60% gas, 40% zon	3000		260		2.860	100%	2.860	23	463
Koken										
	gas			65		715	100%	715	6	116
Installatie										
wtw, pompen	electriciteit	600			600	1.626	100%	1.626	13	334
Huishoudelijke apparatuur										
wasdroger	gasgestookte droger	spec		72	45	914	59%	535	4	153
wasmachine	hot fill + electriciteit	231		6	173	533	98%	521	4	107
vaatwasmachine	hot fill + electriciteit	305		8	229	704	40%	278	2	141
overig	electriciteit	2285			2.285	6.192	100%	6.192	50	1.270
Totaal				577	3.332	15.378		78.324	118	2.880

Gaswarmtepomp		e-vraag	Eis = 15	gasverbruik	electriciteit	primair	Penetratie-	prim*penetr	Eis=120	CO <sub>2</sub>
vloeroppervlak [m <sup>2</sup> ]	123,5	[kWh]	kWh/m <sup>2</sup>	[m <sup>3</sup> gas]	[kWh]	[kWh primair]	graad	[kWh prim.]	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2</sub> ]
Ruimteverwarming										
Gaswarmtepomp	120% rendement	1852,5	15	154		1.698	100%	1.698	14	275
Warm tapwater										
Gaswarmtepomp	80% rendement	3000		384		4.219	100%	4.219	34	683
Koken										
	gas			65		715	100%	715	6	116
Installatie										
wtw, pompen	electriciteit	600			600	1.626	100%	1.626	13	334
Huishoudelijke apparatuur										
wasdroger	gasgestookte droger	spec		72	45	914	59%	535	4	153
wasmachine	hot fill + electriciteit	231		6	173	533	98%	521	4	107
vaatwasmachine	hot fill + electriciteit	305		8	229	704	40%	278	2	141
overig	electriciteit	2285			2.285	6.192	100%	6.192	50	1.270
Totaal				688	3.332	16.601		17.289	128	3.078



<b>Microwarmtekracht</b>		e-vraag	Eis = 15	gasverbruik		primair	Penetratie-	prim*penetr	Eis=120	CO <sub>2</sub>
vloeroppervlak [m <sup>2</sup> ]		[kWh]	kWh/m <sup>2</sup>	[m <sup>3</sup> gas]	[kWh]	[kWh primair]	graad	[kWh prim.]	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2</sub> ]
Ruimteverwarming										
Microwarmtekracht	90% rendement	1852,5	15	185		2.038	100%	2.038	17	330
Warm tapwater										
Microwarmtekracht	80% rendement	3000		384		4.219	100%	4.219	34	683
Koken										
	gas			65		715	100%	715	6	116
Installatie										
wtw, pompen	electr 20% mwkk	600		24	480	1.565	100%	1.565	13	310
Huishoudelijke apparatuur										
wasdroger	gasgestookte droger	spec		72	45	914	59%	535	4	153
wasmachine	electr 20% mwkk	231		9	185	602	98%	589	5	119
vaatwasmachine	electr 20% mwkk	305		12	244	795	40%	314	3	157
overig	electr 20% mwkk	2285		91	1.828	5.959	100%	5.959	48	1.179
<b>Totaal</b>				<b>843</b>	<b>2.782</b>	<b>16.807</b>		<b>17.469</b>	<b>129</b>	<b>3.046</b>

<b>Electrische warmtepomp</b>		e-vraag	Eis = 15	gasverbruik		primair	Penetratie-	prim*penetr	Eis=120	CO <sub>2</sub>
vloeroppervlak [m <sup>2</sup> ]		[kWh]	kWh/m <sup>2</sup>	[m <sup>3</sup> gas]	[kWh]	[kWh primair]	graad	[kWh prim.]	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2</sub> ]
Ruimteverwarming										
Electrische warmtepomp	COP = 4,2	1852,5	15		441	1.195	100%	1.195	10	245
Warm tapwater										
Electrische warmtepomp	COP = 2	3000			1.500	4.065	100%	4.065	33	834
Koken										
	electriciteit	550			550	1.491	100%	1.491	12	306
Installatie										
wtw, pompen	electriciteit	600			600	1.626	100%	1.626	13	334
Huishoudelijke apparatuur										
wasdroger	warmtepompdroger	374			374	1.014	59%	593	5	208
wasmachine	hot fill + electriciteit	231			201	546	98%	534	4	112
vaatwasmachine	hot fill + electriciteit	305			266	721	40%	285	2	148
overig	electriciteit	2285			2.285	6.192	100%	6.192	50	1.270
<b>Totaal</b>				<b>-</b>	<b>6.217</b>	<b>16.849</b>		<b>17.537</b>	<b>129</b>	<b>3.457</b>

## Voorbeelden installaties

### Voorbeeld: installatie, 20 Passiefhuizen, Göteborg, Zweden.

De ventilatietoevoer is verwarmd door ventilatieafvoer in de warmtewisselaar. De rest van de warmtevraag wordt ingevuld met warmte van bewoners, apparaten en verlichting. De warmte van bewoners is gelijk aan een energiewinst van ca. 1200 kWh/jaar. Warmtewinsten van verlichting, diepvries, koelkast, kooktoestel en andere apparaten bedragen ca. 2900 kWh/jaar, uitgaande van de meest energiezuinige apparaten die verkrijgbaar zijn. Een deel van deze warmte is bruikbaar om het gebouw te verwarmen. De woningen zijn ontworpen voor normale klimaatcondities. Koude buitentemperaturen gedurende een lage perioden zijn zeldzaam en beschouwd als extreem. Indien dit toch voorkomt, kan de binnentemperatuur wellicht een graad of twee dalen.



Figuur 60: Passiefhuis, Göteborg, Zweden.

### Voorbeeld: hoog tapwaterrendement: Intergas Kombi Kompakt HR 36/30

Het rendement kan bij de berekening van de energie prestatie coëfficiënt (epc) met stapjes van 0,025 (2,5%) worden ingevoerd. De epn-waarden zijn gerelateerd aan de bruto tapbehoefte en afgerond op een veelvoud van 2,5%. Door toepassing van de Intergas Kombi Kompakt HR 36/30 kan de verlaging van de epc, afhankelijk van het type woning en de bruto warmtebehoefte voor tapwater, oplopen tot meer dan 0,1. Bij een lagere warmtebehoefte neemt het jaartaprendement epn van de Intergas Kombi Kompakt HR 36/30 minder af dan de forfaitaire waarde, waardoor het voordeel in de epn berekening toeneemt. Dit betekent dat de Intergas Kombi Kompakt HR 36/30 onder alle omstandigheden zorgt voor een verlaging van de epc en dus voor een laag gasverbruik.



Figuur 61: Intergas Kombi Kompakt HR 36/30 (intergas).



### **Tunnelgietbouw, ruimteverwarming en warm tapwater**

Na discussie over verwarming, lijkt voor het W&R-concept een eenvoudige plaatradiator, geplaatst in de woonkamer en badkamer een goede oplossing. Wandverwarming wordt door BAM te duur geacht. Over het nut van een optie vloerverwarming wordt nagedacht.

Voorstel toe te passen maatregelen [Bron: Technisch adviesbureau Krone]:

Warm water:

- Zonneboiler met collector < 2,3 m<sup>2</sup>.
- Gas-doorstroomtoestel met HRww.
- Hotfill aansluitingen voor vaatwasser in de keuken en voor wasmachine.
- Alle warmwaterleidingen isoleren.

CV:

- Gasgestookte cv-ketel.
- Radiatoren.
- Ontwerptemperatuur 70/65/C; alléén in woonkamer, hal begane grondvloer, badkamer en zolder.
- Alle cv-leidingen isoleren.







# Huishoudelijke apparaten

Zo'n 10 tot 15 jaar geleden droogde het gemiddelde gezin de was aan de waslijn, deed de afwas handmatig en poetste de tanden met een "normale" tandenborstel. Daarnaast was er slechts in een enkel gezin een computer aanwezig. Gemiddeld genomen keek men met het hele gezin naar één televisie, een magnetron was nog nauwelijks bekend.

De tendens van de afgelopen jaren is dat het energieverbruik in huishoudens alsmäär toeneemt. Dit is deels te wijden aan de toename van comfortverhogende en tijdbesparende apparatuur als vaatwassers en wasdrogers. Daarnaast krijgen we ook steeds meer apparatuur. Twee of meer televisies en computers per gezin zijn tegenwoordig heel gewoon. De bereikbaarheid (lees: betaalbaarheid) is de afgelopen jaren ook sterk toegenomen.

De consument is nauwelijks bereid om op al dit comfort in te leveren. Daarvoor is deze apparatuur te veel ingeburgerd. We kunnen het echter wel eenvoudiger maken om de consument te laten kiezen voor energie-efficiënte apparatuur. Want waarom wordt een nieuwbouwwoning niet standaard opgeleverd met een warm- en koudwater aansluiting op de plek van de wasmachine en de vaatwasser (ten behoeve van hotfill-apparatuur)? Waarom geen gasaansluiting en rookgasafvoer op de plek van de wasdroger? Wanneer consumenten hun nieuwe woning opgeleverd krijgen, zijn dit zaken die ze niet achteraf zullen installeren. Tijdens de bouw zijn deze voorbereidingen op een energie-efficiënte huishouding eenvoudig en goedkoop uit te voeren.

Daarnaast zullen we moeten werken aan de bewustwording. De elektriciteitsmeter zit altijd verstopt in de meterkast. De praktijk leert dat de meeste mensen hier nauwelijks het verbruik in de gaten houden. Wanneer we een tweede display zouden plaatsen op een zichtbare plek worden mensen zich bewuster van het verbruik. Er zijn zelfs voorbeelden van gezinnen waar het een sport wordt om het verbruik zo laag mogelijk te houden. Puur door de zichtbaarheid van de energiemeter. Daarnaast wordt ook het basisverbruik veel duidelijker. Men kan dan namelijk zien wat de koelkast, de ventilatie en het stand-by verbruik aan energie vraagt. Wanneer men dit basisverbruik eenmaal kent, wordt het ook inzichtelijk hoeveel energie een wasje draaien eigenlijk kost. In veel landen is het gebruikelijk om wandcontactdozen uit te voeren met een aan/uit schakelaar. Vaak is deze schakelaar uitgevoerd met een rode LED. Hierdoor wordt het erg duidelijk dat een bepaald apparaat nog niet uitgeschakeld is. Gemiddeld genomen zijn mensen geneigd om een brandend rood lampje uit te schakelen.

Hierboven zijn slechts enkele voorzieningen geschetst die tenminste de drempels voor energie besparen weghalen. Daar draait het namelijk om: we moeten het eenvoudiger maken om bewust met energie om te gaan. Dit is, zeker voor de huishoudelijke apparatuur, zeer eenvoudig te bereiken.

## Arjen Meijer BuildDesk Benelux BV

### 11.1 Inleiding

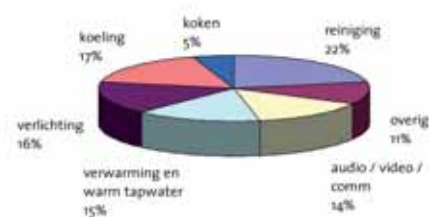
Het gemiddelde elektriciteitsverbruik per huishouden (2,4 personen) was in 2004 3346 kWh. De elektriciteit wordt voor meerdere doeleinden gebruikt, zie figuur 62. Het elektriciteitsgebruik per huishouden is tussen 1990 en 2004 gemiddeld blijven stijgen. In totaal is het elektriciteitsverbruik met bijna 20% toegenomen ten opzichte van 1990. De stijging van het elektriciteitsgebruik komt doordat het aantal elektrische apparaten in een huishouden is toegenomen. Vooral apparaten als wasdrogers, vaatwassers en computers worden nu meer gebruikt en kosten relatief veel energie. Daarnaast is het aantal eenpersoonshuishoudens sterk toegenomen. Het energieverbruik per persoon is voor een alleenstaande ongeveer een derde hoger dan voor een tweepersoons huishouden. Een andere reden voor de stijging van het elektriciteitsverbruik is de toename van het aantal huishoudens waarin beide partners (voltijds of deeltijds) werken. Deze huishoudens bezitten meer dan gemiddeld tijdsbesparende apparaten zoals een wasdroger en een vaatwasser.

Het energieverbruik in een huishouden is afhankelijk van het aantal personen. Hoe meer personen, hoe hoger het verbruik. Onderstaand een tabel met het verbruik naar gezinsgrootte.

**Tabel: Elektriciteitsverbruik naar gezinsgrootte per jaar**  
[Bron: Milieucentraal].

Het verbruik naar gezinsgrootte per jaar	Electriciteitsverbruik
1 persoons huishouden	2220 kWh
2 persoons huishouden	3095 kWh
3 persoons huishouden	3875 kWh
4 persoons huishouden	4345 kWh
5 persoons huishouden	4910 kWh
6 of meer persoons huishouden	5295 kWh.

Sinds 1996 is het Energielabel verplicht voor veel elektrische apparaten. In de toekomst zullen alle elektrische apparaten voorzien zijn van het Energielabel. Het Energielabel is geen keurmerk, maar een etiket met gebruiksinformatie over het energiegebruik van een bepaald apparaat. Het label kent klassen voor efficiënt energiegebruik. Een machine in klasse A is het efficiëntst en dus het zuinigst met energie. Klasse G is het minst efficiënt en gebruikt de meeste energie. Klasse D staat voor een gemiddeld energiegebruik. Daarnaast vermeldt het label vaak, afhankelijk van de toepassing, informatie over de lichtopbrengst, levensduur, watergebruik en gebruikseigenschappen zoals de netto inhoud, waswerking, centrifugeerwerking en het geluidsniveau.



Figuur 62: Verdeling elektriciteitsverbruik.

Betreffende huishoudelijke apparaten en verlichting, zegt de Europese Commissie het volgende: “De energievraag in huishoudens vormen 25% van de uiteindelijke energiebehoefte in de EU. Het elektriciteitsgebruik voor huishoudelijke apparaten in huishoudens heeft de grootste toename. Hogere levensstandaarden en comfortniveaus, veelvoudige aankopen van elektrische apparaten en de groeiende vraag naar airconditioning zijn de belangrijkste redenen dat deze trend zal doorzetten. Energieverbruik door consumentenelektronica en nieuwe media zoals het Internet zijn eveneens gestaag groeiende.”

Door een passiefhuis te voorzien van huishoudapparaten met maximale efficiëntie (zoals warmwateraansluiting voor wasmachines en afwasmachines,



Start

gasdroogkasten, spaarlampen en FL-lampen), kan de elektriciteitsconsumptie met 50% worden gereduceerd zonder tevredenheidsverlies van de gebruikers. Zuinige huishoudapparaten zijn over hun levensduur goedkoper dan conventionele toestellen, aangezien zij zichzelf terugbetalen in de vorm van energiebesparing.

## 11.2 Richtlijnen

### Algemene richtlijnen

Het gemiddelde elektriciteitsverbruik van een huishouden bedraagt circa 4285 kilowattuur. Dit is gebaseerd op gegevens van Basisonderzoek Elektriciteitsverbruik Kleinverbruikers (BEK 2000) en milieucentraal, aangepast volgens uitwerking in paragraaf 11.3.

Deze 4285 kWh is opgebouwd uit ca. 600 kWh ten behoeve van het ventilatiesysteem en 1135 kWh voor wasmachine, vaatwasser en wasdroger. Het overige elektriciteitsverbruik, ten behoeven van bijvoorbeeld verlichting, koelkast/vriezer en stand-by-verbruik, bedraagt 2549 kWh.

### Richtlijnen passiefhuis

De passiefhuis-standaard met betrekking tot huishoudelijk energiegebruik valt gedeeltelijk samen met de passiefhuis-definitie van een maximale totale energievraag van 120 kWh/m<sup>2</sup>. Om aan deze eis invulling te kunnen geven, wordt uitgegaan van 'marktbeste' apparaten, betreffende het ventilatiesysteem, wasmachine, wasdroger en vaatwasser, zie paragraaf 11.3. Bovendien wordt uitgegaan van 10% energiebesparing op het overige elektriciteitsverbruik, resulterend in 2294 kWh ten opzichte van 2549 kWh.

Mogelijke maatregel in passiefhuizen is het opnemen van de aanbeveling om A++/A/B gelabelde apparaten, A-label verlichting en spaarlampen toe te passen.

## 11.3 Uitwerking

Energie-efficiency is een basisprincipe van het passiefhuis-concept, maar ondanks het belang hiervan, wordt de efficiency van huishoudelijke apparaten slechts als een optionele passiefhuis-oplossing aangemerkt. Zoals hierboven aangeduid, dragen huishoudelijke apparaten voor een groot deel bij aan het totale energieverbruik. De toepassing van energie-efficiency eisen op huishoudelijke apparaten zal daarom een aanzienlijk effect hebben op het energieverbruik in een woning.

Huishoudelijke apparaten worden echter niet noodzakelijkerwijs beschouwd als onderdeel van een woning, waardoor invloed op de keuze van de te gebruiken apparaten niet altijd bij de ontwerpers/bouwers van de woning ligt. Deze invloed verschilt uiteraard per situatie, type apparaat en plaatselijke regelgeving. In sommige landen bijvoorbeeld, worden woningen met wasmachine en complete keuken opgeleverd. In andere situaties worden geen huishoudelijke apparaten inbegrepen, waardoor er geen controle is over toekomstig te plaatsen apparaten.

In figuur 64 wordt het elektriciteitsverbruik per toepassingsgebied afgebeeld. Het blijkt dat reiniging (vaatwassen, wassen en drogen) het meest stroomverslindende toepassingsgebied is, gevolgd door koeling (koelkast/vriezer) en verlichting. Het elektriciteitsverbruik voor koken zal in werkelijkheid hoger liggen in huishoudens waar elektrisch gekookt wordt. Het verbruik van 182 kWh is gerelateerd aan het feit dat in 21% van de huishoudens elektrisch wordt gekookt.



Figuur 63: Droger en wasmachine.



Figuur 64: Elektriciteitsverbruik van gemiddeld Nederlands huishoudens [BEK 2000].



### Elektriciteitsbesparing in passiefhuis

Om invulling te geven aan elektriciteitsbesparing, richt deze studie zich met name op energiebesparing:

- Van apparaten die veel energie gebruiken én
- Die aansluiten op het gehele passiefhuis-concept.

Dit betreft 4 apparaten: ventilatiesysteem, wasmachine, wasdroger en vaatwasser.

Het gemiddelde elektriciteitsverbruik van 3346 kWh wordt gehanteerd als basis voor de berekeningen. In dit gemiddelde verbruik wordt echter niet gerekend met werkelijke energiegebruik van de apparaten maar met het energiegebruik vermenigvuldigt met het percentage huishouden dat dit apparaat heeft. Om de energiebesparing van energie-efficiënte apparaten correct in beeld te brengen, wordt dit gemiddelde aangepast op basis van het werkelijke gebruik van de vier genoemde apparaten, zie onderstaande tabel 11 voor berekening.

**Tabel 11: Berekening aanpassing referentieverbruik elektriciteit .**

	kWh/ huishoudens /jaar
Gemiddeld elektriciteitsverbruik BEK (2004)	<b>3346</b>
Gemiddeld elektriciteitsverbruik/hhdn (kWh * % huishoudens):	
• Mechanische ventilatie 262,8 * 38,3%	-/- 101
• Wasmachine 231,0 * 97,8%	-/- 226
• Wasdroger 598,5 * 58,5%	-/- 350
• Vaatwasser 305,3 * 39,5%	-/- 120
Nieuw gemiddelde – 4 apparaten	<b>2549</b>
Werkelijk elektriciteitsverbruik (kWh):	
• Gebalanceerde (i.p.v. mechanische) ventilatie	+ 600
• Wasmachine 231,0	+ 231
• Wasdroger 598,5	+ 599
• Vaatwasser 305,3	+ 306
Nieuw gemiddeld totaal elektriciteitsverbruik (= referentie)	<b>4285</b>

### Elektriciteitsbesparing apparaten

De wasmachine, vaatwasser en wasdroger gebruiken per jaar in totaal 1135 kWh. Onderstaande tabel 12 geeft een onderbouwing van de besparingsmogelijkheden voor vaatwasser, droger en wasmachine, uitgaande van 'marktbest' apparaten, gebaseerd op BEK 2000. Uitgaande van hotfill apparatuur of gasgestookte drogers is verdergaande besparing mogelijk.

#### Hotfill wasmachine

Het water in een wasmachine wordt elektrisch verwarmd. Bij de opwekking van elektriciteit in een elektriciteitscentrale gaat ongeveer de helft van de energie verloren. Wanneer het water met gas of zonne-energie verwarmd wordt, bespaart men dus energie. Bijkomend voordeel is, dat bij het wassen op hogere (begin-)temperaturen de machine eerder klaar is met het programma omdat het water niet meer hoeft te worden opgewarmd. 'Hotfill' wasmachines zijn speciale wasmachines die direct op de warmwaterkraan aangesloten kunnen worden. In tegenstelling tot een afwasmachine kan een gewone wasmachine niet zomaar op de warmwaterkraan aangesloten worden, omdat de wasmachine maar één waterinlaat heeft, voor koud water. De wasmachine kan geschikt gemaakt worden voor hotfill door een voorschakelapparaat tussen de warmwaterkraan en de wasmachine te zetten. Met het voorschakelapparaat kan de temperatuur worden ingesteld. Met een hotfill wasmachine wordt 10 tot 35 % energie bespaard. Als het warme water afkomstig is van een zonneboiler of warmtepomp kan de besparing op de energiekosten oplopen tot zo'n 40%.

**Tabel 12: Besparing elektriciteitsverbruik.**

	Gemiddeld kWh per cyclus	Marktbest kWh per cyclus	formule berekening energiegebruik/jr	Besparing kWh per jaar
Wasmachine	<b>2,2</b>	<b>1,7</b>	$kWh * 0,5 * 211$	<b>53</b>
Droger	<b>3,8</b>	<b>2,9</b>	$kWh * 0,75 * 210$	<b>142</b>
Vaatwasser	<b>1,85</b>	<b>1,3</b>	$kWh * 0,75 * 220$	<b>91</b>
Totaal				<b>285</b>

Er zijn drie voorwaarden voor het plaatsen van een hotfillmachine:

- Er moet een warmwaterleiding komen vanuit de ketel of boiler of vanuit de warmwaterkraan in de keuken of badkamer. Meestal wordt deze aangelegd door een installateur. De leidingen van de warmwaterbron naar de afwasmachine mogen niet langer dan 10 meter zijn, anders gaat teveel warmte verloren.
- Er moet een koudwateraansluiting zijn voor het spoelprogramma en de wolwas.
- Het tapwaterrendement van het verwarmingstoestel moet minimaal 70% bedragen om voldoende water te hebben [Bron: milieucentraal].

### Wasdroger

Een wasdroger is een grote energieverbruiker in het huishouden. Wasdrogers met een Energielabel-A verbruiken de minste energie. Alleen de gasverwarmde wasdrogers en de warmtepompdrogers hebben dit label. Drogen aan de waslijn buiten kost geen geld en energie. Als u binnenshuis droogt, koelt de lucht door het drogen af. 's Winters moet u dan iets meer stoken.

Een warmtepompdroger produceert warmte door lichtsamen te persen. Bij het oppompen van een fietsband is dit verschijnsel ook goed waarneembaar: de onderkant van de pomp - waar de druk het hoogst is - wordt behoorlijk heet. Deze warmte wordt gebruikt voor het drogen. De pomp werkt op elektriciteit, maar verbruikt 50% minder elektriciteit dan een conventionele droger. Een gasdroger verwarmt de lucht met gas in plaats van met elektriciteit. De gasdroger bespaart brandstof, omdat bij de productie van elektriciteit circa de helft van de energie verloren gaat.

### Vaatwasser

Een afwasmachine verwarmt water elektrisch. Voor het verwarmen van water met gas of met duurzame energiebronnen is veel minder energie nodig. Door de afwasmachine direct op de warmwatervoorziening aan te sluiten

(hotfill) kan ongeveer 5 tot 25% energie worden bespaard. Als het warme water voor de hotfill machine afkomstig is van een zonneboilersysteem, warmtepompboiler of stadsverwarming, wordt meer energie bespaard. Hiervoor is geen speciale machine nodig, maar de machine moet wel geschikt zijn voor een hotfill aansluiting. Een nadeel van hotfill is, dat koud voorspoelen niet mogelijk is, waardoor zetmeelresten moeilijker te verwijderen zijn. Dit kan worden voorkomen door voor te spoelen in een teiltje koud water.

Voor hotfillgebruik zijn een tweetal aanpassingen nodig:

- Een thermostatische kraan, mengventiel of regelaar (of een voorschakelapparaat), zodat de temperatuur niet boven de 60°C kan komen. De regelaar wordt geplaatst voor de waterinlaat van de machine. Een thermostatisch mengventiel zit standaard ingebouwd in combiketels met gaskeur NZ en is los verkrijgbaar via loodgieters en installateurs. Een voorschakelapparaat is niet bij alle typen afwasmachines noodzakelijk.
- Een tweede warmwaterleiding vanuit de ketel of boiler of vanuit de warmwaterkraan in de keuken. Deze leidingen van de warmwaterbron (bijv. ketel) naar de afwasmachine zijn niet langer dan 10 meter, in verband met teveel warmteverliezen.

Het voorschakelapparaat kan een drukgolf veroorzaken in de toevoerleiding voor warmwater. Het kan het overwegen waard zijn in deze leiding een waterslagdemper aan te brengen, bijvoorbeeld bij de toevoerkraan [Bron: milieucentraal].

**Tabel 13: Overige besparingen huishoudelijk elektriciteitsverbruik.**

Energiegebruik	Gemiddeld huishouden (kWh/hhdh/jaar)	Mogelijke besparing (kWh/hhdh/jaar)	Totaal energiegebruik (kWh/hhdh/jaar)
Koelkast/vriezer	606	250	406
Verlichting	559	250	309
Stand-by of continu verbruik	500	250	250

### Overige besparingen huishoudelijk elektriciteitsverbruik

In tabel 13 wordt aangegeven wat verder mogelijk is aan besparingen, uitgaande van de grootste posten. Vervolgens worden de onderdelen nader toegelicht en uitgewerkt.

#### Koelkast/vriezer

Koel- en vriesapparaten gebruiken ongeveer 18% (606 kWh) van het totale elektriciteitsverbruik in een huishouden. Het echte verbruik hangt af van de grootte van de koel- en vriesruimte, de hoeveelheid sterren (aanduiding voor vriescapaciteit) en de manier van gebruiken. Daarnaast beïnvloeden de temperatuur van de omgeving en de ruimte voor ventilatie het elektriciteitsverbruik.

Op alle koel- en vriesapparaten zit een Energielabel. Een koelkast met A-label gebruikt ongeveer 35% minder elektriciteit dan een vergelijkbaar apparaat met een C-label. Bij de koel- en vriesapparaten zijn er behalve de A-klasse nog twee zuinigere categorieën te onderscheiden: A+ en A++. Een A+-koelkast is ongeveer 13% zuiniger dan een koelkast met 'gewoon' A-label en een A++-koelkast is ongeveer 25% zuiniger dan een A-label koelkast. Tegenwoordig heeft 80% van de markt een A-label of Energielabel.

#### Verlichting

Van het totale elektriciteitsverbruik in een huishouden wordt ongeveer 1/6 verbruikt voor verlichting. Dit elektriciteitsverbruik kan eenvoudig gehalveerd worden door een aantal gloeilampen te vervangen door spaarlampen. Stel er branden in een woning vijf lampen gemiddeld drie uur per dag. Wanneer hierbij spaarlampen (15 Watt) worden gebruikt in plaats van gloeilampen (60 Watt), levert dit een besparing op van 250 kWh, wat resulteert in een reductie van 142 kg CO<sub>2</sub>-uitstoot.

### Stand-by of continu verbruik

Door het voortschrijden van de techniek komen steeds meer apparaten op de markt die 24-uur per dag stroom verbruiken, ook als ze de functie waarvoor ze primair zijn ontwikkeld, niet vervullen. Voorbeelden hiervan zijn de draadloze telefoon, de telefoonbeantwoorder en de buitenlamp met bewegingssensor. In sommige huishoudens blijft de computer dag en nacht 'aan' staan. Als op de computer powermanagement is geïnstalleerd, zal de computer (na een bepaalde tijd niet te zijn gebruikt) in de slaapstand gaan. In deze stand is het verbruik ongeveer 20 Watt. Sinds enkele jaren is het gebruikelijk een thuisnetwerk te creëren. Regelmatig wordt een oude PC gebruikt als thuisserver, die continu aanstaat, met een verbruik van ca. 160 kWh. Beter is de aanschaf van een router, waarmee het energieverbruik gereduceerd wordt tot 40 kWh.

Het stand-by verbruik is in een gemiddeld huishouden jaarlijks 400 tot 550 kWh. Grofweg de helft van het stand-by verbruik is te voorkomen met de volgende maatregelen:

- Als het apparaat een uitknop heeft, gebruik deze dan in plaats van de stand-by knop.
- Haal de stekker uit het stopcontact van apparaten die niet worden gebruikt.
- Indien meerdere apparaten bij elkaar staan (bijv. computerapparatuur), verzamel alle stekkers in een contactdoos met aan/uit schakelaar. Zet de stekkerdoos na gebruik uit.
- Halogeenlampen hebben vaak de schakelaar tussen lamp en transformator. De transformator blijft stroom verbruiken als de lamp uit is. Dit wordt voorkomen door de aan/uitknop tussen transformator en het stopcontact te zetten.
- Laders van bijvoorbeeld kruidmelder tandenborstel verbruiken stroom, ook als er niet geladen wordt. Haal laders uit het stopcontact als er niet wordt geladen.

# STANDBY



Sommige apparaten functioneren niet zonder stand-by te staan, zoals een koelkast, cv-ketel of een deurbel. Maar vaak is stand-by staan niet nodig en wordt elektriciteit bespaard door de stekker uit het stopcontact te halen, zie onderstaande tabel.

**Tabel 14: Elektriciteitsbesparing door uitschakelen stand-by stand.**

*\*) De totale besparing valt hier hoger uit dan in een gemiddeld huishouden. Niet ieder huishouden zal alle bovengenoemde apparaten in huis hebben.*

Apparaat en gemiddelde besparing	Stand-by uitschakelen
Lader elektrische tandenborstel (11 kWh) Lader kruimeldief (13 kWh) Batterij/accu-oplader (5 kWh)	De oplader blijft stroom verbruiken, ook zonder apparaat of als apparaat vol is. Haal de stekker uit het stopcontact als er niet opgeladen hoeft te worden.
Halogeenlamp (5 kWh) Babyfoon (6 kWh)	De transformator blijft stroom verbruiken, ook als apparaat of lamp uit staat en de stroom dus niet hoeft te worden 'getransformeerd' naar het juiste vermogen. Haal de stekker uit het stopcontact.
Versterker (42 kWh) Tuner (19 kWh) Cassettedeck (25 kWh) CD-speler (23 kWh) DVD-speler (61 kWh) Televisie (64 kWh)	Zolang er een lampje brandt, verbruikt het apparaat stroom en kan met de afstandsbediening bediend worden. Als het apparaat echt uit staat kan het niet meer met de afstandsbediening bediend worden. Soms kan dit alleen door de stekker uit het stopcontact te halen.
Computer (94 kWh)	Sluit de programma's af voor u de stekker uit het stopcontact haalt of de stekkerdoos uit zet. Dit is beter voor de harde schijf.
Printer en scanner (45 kWh)	Haal de stekker uit het stopcontact of sluit aan op stekkerdoos met aan/uitknop.
Fax/modem (43 kWh)	Haal de stekker uit het stopcontact als u niet bereikbaar hoeft te zijn.
Espresso-apparaat (26 kWh)	Haal de stekker uit het stopcontact of sluit aan op stekkerdoos met aan/uitknop.
Koffiezetapparaat (1 kWh)	Warmhoudplaatje blijft warm. Koffie kan in thermoskan warm gehouden worden.
Kookplaat en oven (ook gasoven met stekker, 10 kWh) (Combi) magnetrons (35 kWh)	Vaak is een lampje of een display met de tijd te zien. Dit verbruik is te voorkomen door een schakelaar aan te brengen tussen het stopcontact en de stekker. Bij inbouw-apparaten zal het lastig zijn dit stand-by verbruik te voorkomen omdat de stekker moeilijk te bereiken is.
<b>Totale besparing 528 kWh*)</b>	<b>Kosten besparing € 100,-*)</b>



### **EU-regelgeving met betrekking tot energie-efficiënte apparaten**

Om energie-efficiency van huishoudelijke apparaten en verlichting te beïnvloeden, heeft de EU twee complementaire stukken wetgeving opgesteld:

1. EU labelling programma's: Aangezien de markt voor huishoudelijke apparaten, zoals wasmachines, vaatwassers, ovens, airconditioning systemen etc. zeer zichtbaar voor de consument is, is de intentie om het bewustzijn van consument met betrekking tot daadwerkelijk energieverbruik van huishoudelijke apparaten te verhogen middels een verplicht en helder labelling systeem op het punt van verkoop. Deze labelling programma's zijn van toepassing op: huishoudelijke elektrische koelkasten, vriezers en combinatievriezers, elektrische ovens, airconditioners, lampen, vaatwasmachines, gecombineerde wasdrogers, elektrische droogtrommels, wasmachines, huishoudelijke Apparaten.

2. Minimum efficiency eisen: Opgelegde minimefficiëncyeisenzullenproducenten van huishoudelijke apparaten stimuleren om het productontwerp te verbeteren met het oog op lager energieverbruik gedurende het gebruik van de apparaten. Deze efficiency eisen zijn toepasbaar op: verlichting, huishoudelijke elektrische koelkasten, vriezers en combinatievriezers, warmwater boilers.





# Trends in Nederland

Passiefhuis is in Nederland een nog weinig bekend verschijnsel. Vraag van consumenten naar passiefhuis is nauwelijks aan de orde. Aan de aanbodkant zijn er bewegingen merkbaar, doch veel concrete projecten heeft dat nog niet opgeleverd. Wel is het zo dat deskundigen in passiefhuis een interessant concept zien dat een belangrijke rol kan spelen in de energietransitie van de gebouwde omgeving.

Passiefhuis heeft als uitgangspunt zo efficiënt mogelijk de eerste stap in de Trias Energetica te realiseren, de beperking van de energievraag. Het is de bedoeling van een aantal marktpartijen om de komende jaren passiefhuis op een grotere schaal te gaan realiseren, met als doel de kostprijs omlaag te brengen. Wanneer de meerkosten van een standaard rijenhuis van € 18.000 naar € 15.000 en verder naar € 12.000 gebracht worden, is er een flinke stap gemaakt. Hieraan wordt gewerkt. Via de koppeling aan speciale energiehypotheek met een lage hypotheekrente kan de jaarlast van de bewoners worden beperkt. Ook op dit terrein is de nodige innovatie te verwachten.

De baten voor de bewoner ontstaan door de verlaging van de energierekening. Uit het voorbeeld dat hierna is uitgewerkt blijkt dat een break even point bij 12 jaar na oplevering kan liggen. Het is met de kennis van nu niet ondenkbaar dat over een paar jaar al bij oplevering van de woning op de totale woonlasten wordt bespaard.

Binnen het Platform energietransitie Gebouwde Omgeving wordt het passiefhuis als een kansrijk concept gezien voor verlaging van het gebruik van fossiele brandstoffen in de gebouwde omgeving. Dit omdat met passiefhuis nu reeds een CO<sub>2</sub> reductie van 45% t.o.v. een EPC 0,8 woning kan worden bereikt. Deze CO<sub>2</sub> reductie is met nieuwe technieken nog verder te verbeteren. Dit, gecombineerd met de mogelijkheid dat op termijn op de totale woonlasten kan worden bespaard, maakt dat passiefhuis als een winnende strategie voor energiebesparing kan worden gezien. Als de consument van het woonlastenvoordeel, het zeer aantrekkelijke comfortniveau en het gezonde binnenklimaat kan worden overtuigd, is te verwachten dat passiefhuis in Nederland een fors marktaandeel kan verwerven.

## Pieter Hameetman BAM Vastgoed BV



### 12.1 Inleiding

Op 27 april 2006 is in opdracht van Rockwool een 2e rondetafel conferentie gehouden over het passiefhuis. De 1e conferentie, gehouden op 27 april 2005, had als onderwerp te inventariseren welke knelpunten zich in de Nederlandse markt bevinden om het passiefhuis-concept, dat in het buitenland reeds zeer succesvol is, ook in Nederland van de grond te krijgen. Met die rondetafelconferentie werd een start gemaakt voor een succesvolle ontwikkeling van passiefhuizen in Nederland.

Tijdens de 2e rondetafel conferentie waren ca. 25 personen aanwezig. Zij vertegenwoordigden een brede afspiegeling van betrokkenen in de markt. Vertegenwoordigd waren o.a. Rockwool, BAM Vastgoed, Ministerie van VROM, SenterNovem, ECN, Passiefhuis Platform België, Vereniging Eigen Huis, Han van Zwieten Architecten en Stichting HR-Ventilatie. De ontwikkelingen van het tussenliggende jaar zijn besproken en er is gediscussieerd over de knelpunten die bij de ontwikkeling van een passiefhuis naar voren komen of gekomen zijn.

In dit hoofdstuk, over de economische en markttechnische aspecten van een passiefhuis, worden de resultaten weergegeven, zoals tijdens de rondetafel conferentie naar voren zijn gekomen. Daarnaast wordt kort ingegaan op de relatie tussen huidige regelgeving en de ontwikkeling van een passiefhuis.

### 12.2 Economie

Een van de kwaliteiten van het passiefhuis is de aanzienlijke besparing op de energiekosten voor de bewoners. Dit woonlasten voordeel is een belangrijk aspect, waarover marktpartijen meer moeten communiceren.

Bij een koopwoning betekent dit voor de bewoner dat een hogere investering zich terugverdient ten gevolge van een lagere energierekening. Interessant zou zijn, de woonlasten van de woning uit te drukken tot het jaar 2030. Als de energieprijzen omhoog gaan, wordt de kostenbesparing hoger en zullen de woonlasten afnemen. Een hypotheekvorm om meer geld te lenen aan bewoners van een energiezuinige woning, bijvoorbeeld de groenfinanciering, zou een oplossing kunnen zijn om mensen te overtuigen de stap te zetten naar een hogere investering.

Bij huurwoningen speelt het aspect, dat de bewoner het woonlasten voordeel krijgt, terwijl de huur om eventuele hogere investeringskosten te compenseren, niet omhoog kan. Dit, omdat bij een te hoge huurprijs voor een passiefhuis, de bewoner geen mogelijkheid meer heeft tot het verkrijgen van huurtoeslag. Een hogere huurtoeslag-grens bij een energiezuinige woning kan een oplossing bieden.

In de grafiek (figuur 65) wordt inzichtelijk gemaakt wat het verschil in woonlasten is (cumulatief) van een woning met epc 0,8 en een passiefhuis. De grafiek is gebaseerd op uitgangspunten overeenkomstig tabel 15. op de volgende pagina wordt een toelichting gegeven.

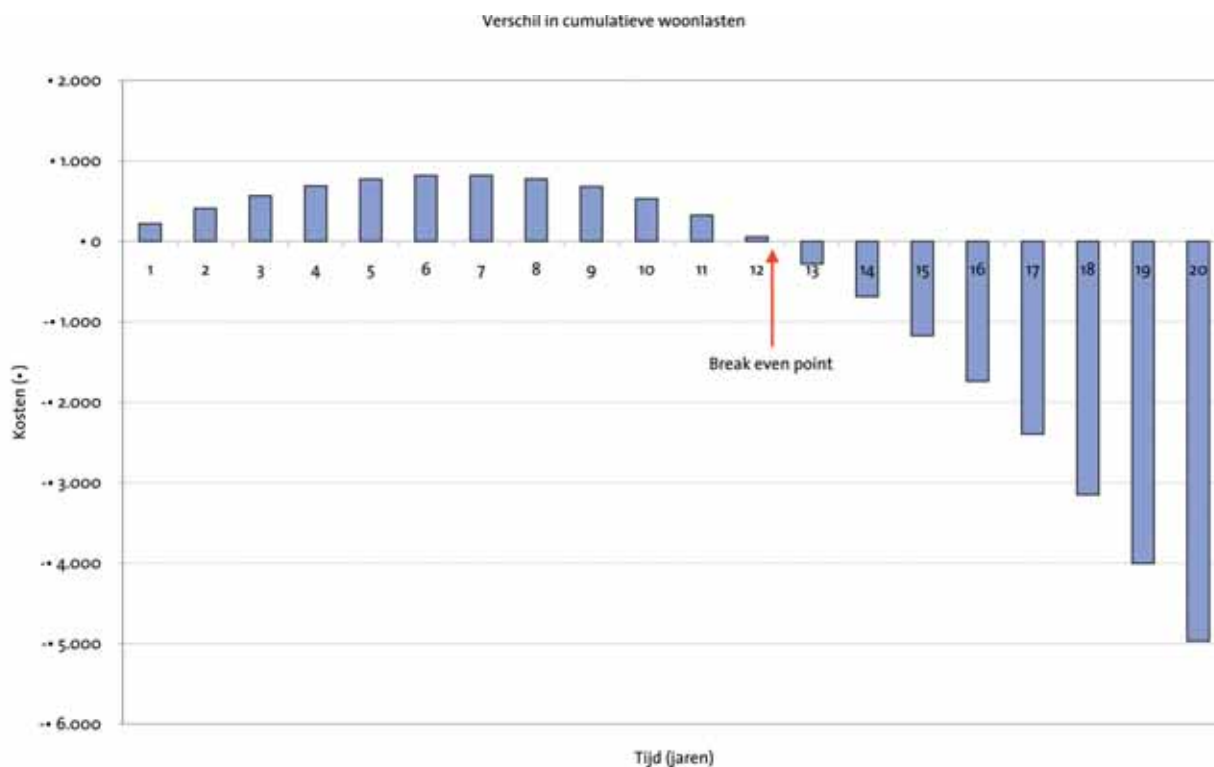
**Toelichting bij de grafiek (zie tabel 15 voor onderbouwing):**

De kolommen geven aan wat het cumulatieve verschil in woonlasten is bij een woning met een epc 0,8 ten opzichte van een passiefhuis. Bijvoorbeeld, het 1e jaar is het passiefhuis ca. € 20 duurder dan een woning uitgevoerd volgens epc 0,8. Dit verschil komt doordat de investeringen voor een passiefhuis hoger zijn (aansname € 12.000) dan voor een woning met epc 0,8. Echter, het energiegebruik is minder.

Door de stijging van de energieprijzen (aansname 7,5% per jaar), in combinatie met een hogere hypotheek, is er in eerste instantie een cumulatieve stijging waar te nemen. Na verloop van jaren, in dit geval 7 jaar, zet een daling in omdat de jaarlijkse energiebesparing uiteindelijk meer oplevert dan de kosten voor een hogere investering. Het break even point is 12 jaar. Na dit 12e jaar is een bewoner in een passiefhuis goedkoper uit.

Indien de meerkosten niet € 12.000,- maar lager zijn (wat wel de verwachting is op termijn) en/of de energieprijzen harder stijgen (niet 7,5 maar 10%), dan zal het break even point veel eerder bereikt zijn. Bij een energieprijsstijging van 10% betreft dit 10 jaar.

Indien de meerinvestering € 8.000,- en de energieprijsstijging 7,5% bedraagt, wordt vanaf het eerste jaar al bespaard op de totale woonlasten.



Figuur 65: Cumulatieve verschil in woonlasten van een passiefhuis t.o.v. een epc 0,8 woning.

Tabel 15: Uitgangspunten bepaling woonlasten bij een epc 0,8 woning en een passiefhuis.

Jaarlijkse stijging energieprijzen (%)	7,5				
JAAR	1	5	10	15	20
<b>Energieprijzen</b>					
Gas (m³)	€ 0,58	€ 0,77	€ 1,11	€ 1,60	€ 2,29
Elektriciteit (kWh)	€ 0,20	€ 0,27	€ 0,38	€ 0,55	€ 0,79
<b>EPC = 0,8</b>					
<b>Woningtype</b>					
Koopprijs	€ 250.000				
Hypotheeklasten bruto	€ 16.262,86				
Huurwaardeforfait	€ 1.500,00				
Belastingtarief doelgroep	41,95%				
Levensverzekering per jaar	€ 708				
Netto jaarlasten hypotheek	€ 11.936,41				
Hypotheeklasten per maand	€ 994,70				
<b>Bijkomende woonlasten</b>					
Opstalverzekering	€ 15,32				
Gasverbruik per jaar (m³)	1032				
Elektraverbruik per jaar (kWh)	3636				
Energiekosten excl. vast recht	€ 110,48	€ 147,54	€ 211,82	€ 304,09	€ 436,56
Water (schatting)	€ 10,00				
OZB	€ 47,31				
Waterschapsheffing	€ 21,32				
<b>Totaal woonlasten per maand</b>	<b>€ 1.199</b>	<b>€ 1.236</b>	<b>€ 1.300</b>	<b>€ 1.393</b>	<b>€ 1.525</b>
<b>Totaal woonlasten per jaar</b>	<b>€ 14.390</b>	<b>€ 14.834</b>	<b>€ 15.606</b>	<b>€ 16.713</b>	<b>€ 18.302</b>
<b>Totaal woonlasten (cumulatief)</b>	<b>€ 14.390</b>	<b>€ 73.019</b>	<b>€ 149.393</b>	<b>€ 230.583</b>	<b>€ 318.687</b>
<b>Passiefhuis</b>					
<b>Woningtype</b>					
Koopprijs	€ 262.000				
Extra kosten bouwkundig	€ 8.000				
Extra kosten installatietechnisch	€ 4.000				
Hypotheeklasten bruto	€ 17.043,48				
Huurwaardeforfait	€ 1.572,00				
Belastingtarief doelgroep	41,95%				
Levensverzekering per jaar	€ 742				
Netto jaarlasten hypotheek	€ 12.509,35				
<b>Hypotheeklasten per maand</b>	<b>€ 1.042,45</b>				
<b>Bijkomende woonlasten</b>					
Opstalverzekering	€ 16,06				
Gasverbruik per jaar (m³)	577				
Elektraverbruik per jaar (kWh)	2947				
Energiekosten excl. vast recht	€ 77,01	€ 102,84	€ 147,64	€ 211,95	€ 304,28
Water (schatting)	€ 10,00				
OZB	€ 49,58				
Waterschapsheffing	€ 22,34				
<b>Totaal woonlasten per maand</b>	<b>€ 1.217</b>	<b>€ 1.243</b>	<b>€ 1.288</b>	<b>€ 1.352</b>	<b>€ 1.445</b>
<b>Totaal woonlasten per jaar</b>	<b>€ 14.609</b>	<b>€ 14.919</b>	<b>€ 15.457</b>	<b>€ 16.228</b>	<b>€ 17.336</b>
<b>Totaal woonlasten (cumulatief)</b>	<b>€ 14.609</b>	<b>€ 73.793</b>	<b>€ 149.923</b>	<b>€ 229.411</b>	<b>€ 313.717</b>
<b>Kosteneffect</b>					
<b>Woonlasten per maand</b>	<b>€ 18</b>	<b>€ 7</b>	<b>-€ 12</b>	<b>-€ 40</b>	<b>-€ 81</b>
<b>Cumulatieve woonlasten</b>	<b>€ 220</b>	<b>€ 773</b>	<b>€ 530</b>	<b>-€ 1.172</b>	<b>-€ 4.969</b>
	<b>101,5%</b>	<b>100,6%</b>	<b>99,0%</b>	<b>97,1%</b>	<b>94,7%</b>

## 12.3 Markt

Nederland heeft een aanbod gestuurde woningmarkt. De bewoner baseert de woningkeuze, uit het soms schaarse aanbod, op aspecten als locatie en uitstraling en is minder geïnteresseerd in de bouwkwaliteit en de exploitatiekosten van de woning. De bewoner is niet bekend met de specificaties van zijn woning, zoals bijvoorbeeld de energetische kwaliteit. Wanneer er een vraaggestuurde markt is, kan er vanuit bewoners meer vraag naar passiefhuizen ontstaan. De bekendheid met het concept is echter nog zeer beperkt.

Het passiefhuis is ook nauwelijks bekend bij gemeenten en bouwkundigen. Een goede bekendheid is een voorwaarde voor een goede marktwerking.

### Communicatie over kwaliteiten

Onlangs is in Nederland de epc-aanscherping doorgevoerd door het Ministerie van VROM. Vanuit een deel van de markt heeft VROM veel kritiek ontvangen op deze aanscherping. (Voor)oordelen over kosten en gezondheid van de woning komen hierbij naar voren. Feit is, dat met het passiefhuis een aanzienlijk grotere spong wordt gemaakt wat betreft energiezuinigheid ten opzichte van de epc-aanscherping. Hierdoor is te verwachten dat het passiefhuis-concept te verduren krijgt met dezelfde en wellicht meer (voor-)oordelen. Enkele voorbeelden van vooroordelen worden nu al regelmatig geuit, bijvoorbeeld: een goed geïsoleerd huis kampt met oververhitting in de zomer, de potdichte woning leidt tot verstikking of de klimaatinstallaties maken lawaai en zijn ongezond.

Een goed verhaal is nodig om juist de kwaliteiten van het passiefhuis te benadrukken, met name voor de thema's:

- **Woonlastenvoordeel:** wat kost een passiefhuis en wat levert het op, uitgedrukt in netto woonlasten. Wat betekent dit voor koopwoningen en voor huurwoningen? De insteek moet zijn dat de bewoners veel financieel voordelen hebben bij het wonen in een energiezuinige woning.
- **Comfort:** het concept moet goed vermarkt/neergezet worden, waarbij de focus ligt op goed comfort. Een passiefhuis is door de toepaste zonwerende maatregelen wat betreft zomercomfort niet anders of zelfs beter dan een normale nieuwbouwwoning.
- **Gezondheid:** hoe gezond is het passiefhuis? Een passiefhuis is goed geventileerd, heeft voldoende lichttoetreding en geen koudebruggen. (Voor-)oordelen over een ongezond binnenklimaat moeten worden vermeden.
- **Materiaalgebruik:** verantwoording levenscyclus analyse. Op dit gebied is nader onderzoek nodig.

Het passiefhuis-concept moet meer bekend worden, met een nadruk op goede kwaliteit. Op deze manier worden meer mensen overtuigd van het concept. In Duitsland en Oostenrijk komt reeds een enthousiast publiek op beurzen, omdat ze weten wat een passiefhuis is. Aangezien de markt in Nederland aanbod gestuurd is, is het van belang met name gemeenten, aanbieders en ontwikkelaars van woningen bekend te maken met het passiefhuis.

### **Doelgroepen voor communicatie**

Consumenten, adviseurs maar ook gemeenten en projectontwikkelaars zijn maar beperkt bekend met het passiefhuis-concept. De gemeente is de grootste klant van projectontwikkelaars en hebben daardoor grote invloed op de woningontwikkeling. De bewoner daarentegen staat ver af van de uiteindelijke woningkwaliteit. Het criterium dat gemeenten hanteren betreft veelal de bieding op de grond en minder het criterium energie.

Echter, het wachten op een gemeente die initiatief neemt tot ontwikkeling van passiefhuizen is niet voldoende. Het concept passiefhuis zal enthousiast in de markt gezet moeten worden en moeten staan voor goede kwaliteit. Projectontwikkelaars moeten maatschappelijk verantwoord willen bouwen, enthousiast worden en het voortouw nemen, alleen al om publiciteit te creëren en zichzelf te onderscheiden.

Een oplossing zou kunnen zijn dat partijen zelf met de gemeente aan de slag gaan, bijvoorbeeld door middel van prijsvragen. Een belangrijk onderdeel hierbij is nogmaals de juiste communicatie over de kwaliteiten van het passiefhuis.

### **Voorbeeldprojecten**

Het beste middel om het passiefhuis te leren kennen blijft nog altijd het laten zien wat mogelijk is, door ook daadwerkelijk te bouwen. Dan kan gezien worden wat mogelijk is en dat zelfs voor dezelfde prijs. Ook in het verleden is bewezen dat deze aanpak bij woningbouw goed kan werken.

SenterNovem probeert subsidie op juiste manier te besteden. De overheid bepaalt daarbij de speerpunten, wat een grote invloed heeft. Maar de ontwikkelingen in de markt zijn erg belangrijk. Wanneer passiefhuis goed ontvangen wordt, zal dit concept door SenterNovem extra gestimuleerd kunnen worden.

## **12.4 Regelgeving**

Een passiefhuis moet voldoen aan de huidige regelgeving. Dit betekent dat het Bouwbesluit onverkort van toepassing is. In de eerste hoofdstukken zijn per onderdeel de richtlijnen opgenomen zoals die van toepassing zijn overeenkomstig de huidige regelgeving. Het passiefhuis voldoet aan alle aspecten wat betreft deze richtlijnen. In veel gevallen gaat het passiefhuis veel verder dan de eisen uit het Bouwbesluit.

### **GIW-garantie**

Indien gebouwd wordt onder GIW-garantie, zijn de aanvullende eisen van het GIW van toepassing. Verwacht wordt dat aan veel eisen van het GIW kan worden voldaan. Mogelijke knelpunten zijn:

- Inbraakveiligheid: in hoeverre voldoen passiefhuis-kozijnen aan de eisen met betrekking tot inbraakveiligheid.
- Het testen van passiefhuis-kozijnen. Er is geen BRL waarmee de verlijming van bijvoorbeeld PUR-hout getest kan worden.

### **Certificering**

Certificering of woonlabel is een middel om de kwaliteit van het ontwerp, maar ook de uitvoering, te stimuleren en te controleren. De vraag is welke aspecten wel en niet certificering behoeven, en hoever daarin gegaan moet worden. Wat betreft techniek zijn zowel het ontwerp als de uitvoering te certificeren.









# Passiefhuis in de Nederlandse bouwpraktijk

In deze publicatie is aangegeven in hoeverre het passiefhuis-concept aansluit bij de Nederlandse bouwpraktijk, zowel technisch, economisch als ook qua regelgeving, kwaliteitsnormering en inpassing in de Nederlandse woningbouwmarkt. Het passiefhuis-concept is technisch realiseerbaar binnen in Nederland gangbare bouwsystemen, zoals tunnelgietbouw, kalkzandsteen draagconstructies en houtskeletbouw.

Onderstaand wordt een overzicht gegeven van aspecten die essentieel zijn bij verdere ontwikkeling van het passiefhuis-concept.

1. Verbeterde isolatie van gevel, dak en vloer tot isolatieniveaus in de range van  $R_c = 6,5$  tot  $10 \text{ W/m}^2\text{K}$  en meer is mogelijk. In de studie zijn verkenningen gedaan naar verschillende componenten en blijken oplossingen mogelijk. Een voorbeeld is de ontwikkeling van houtskeletbouwgevelelementen op basis van I-liggers. Dergelijke elementen sluiten niet alleen aan bij houtskeletbouw-woningen, maar ook bij gietbouw en kalkzandsteen. Gevelafwerking in metselwerk blijft mogelijk. Ook andere oplossingen zijn denkbaar, zoals buitengevelisolatie afgewerkt met plaatmaterialen of buitengevelisolatie met stucwerk. Over de laatste techniek is in de Nederlandse markt nog enige scepsis te bespeuren.

2. Voor een passiefhuis is 'aansluitende' en 'doorlopende' isolatie essentieel. Het verdient daarom aanbeveling om dikke isolatiepakketten meerlaags uit te voeren, zodat eventuele naden overlappen. Bij zachte isolatiematerialen is aansluiting relatief eenvoudig te bereiken. Bij harde platen is nauwkeurige aandacht en controle nodig om een aaneensluitende isolatielaag te verkrijgen.

3. De detaillering van woningen op basis van het passiefhuis-concept vraagt veel aandacht voor 'relatieve' koudebruggen, omdat onvolkomenheden in de rondom doorlopende geïsoleerde schil een relatief grote invloed hebben op de transmissieverliezen. Met name voor

aansluitingen van gevel-begane grondvloerfundering, als ook de aansluitingen op woningscheidende wanden en verdiepingsvloeren en aansluitingen van kozijnen is gedurende het gehele ontwerpstadium aandacht nodig.

4. Het passiefhuis-concept vraagt om beter isolerende kozijnen ( $U < 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), die thans niet of beperkt in Nederland worden geproduceerd. Vooral nog moeten kozijnen worden geïmporteerd of speciaal worden ontwikkeld. Zodra er vraag naar passiefhuizen in Nederland ontstaat, is de verwachting dat Nederlandse kozijnfabrikanten in staat zijn passiefhuiskozijnen te leveren. Vooral bij een gelaagde opbouw van hout in combinatie kurk of PUR is aandacht voor de eisen van het Politiekeurmerk nodig. Drievoudige beglazing is reeds in Nederland verkrijgbaar.

5. Het passiefhuis-concept vraagt om luchtdicht bouwen met een  $q_{v10}$ -waarde van  $0,15 \text{ dm}^3/\text{s.m}^2$  of lager, terwijl de Nederlandse bouwtraditie thans een  $q_{v10}$ -waarde van  $0,625 \text{ dm}^3/\text{s.m}^2$  gewend is als niveau voor woningen met gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning. Dat betekent dat aansluitdetails beter moeten zijn en dat aansluitingen met speciaal voor passiefhuis ontwikkelde, geplakte folies moeten worden uitgevoerd. De haalbaarheid in de Nederlandse praktijk zal in praktijkprojecten moeten worden aangetoond.



6. De installatie van een passiefhuis bestaat uit een goed ventilatiesysteem met warmteterugwinning en een energiezuinig warmtapwatersysteem. Het te kiezen systeem voor ruimteverwarming moet aansluiten op deze twee basiscomponenten. De eis met betrekking tot ruimteverwarming is, dat incidenteel warmte kan worden toegevoerd, bovenop het temperatuurniveau dat ontstaat uit de goede isolatie en de balansventilatie. In deze publicatie zijn twee varianten beschreven:

a. Geconstateerd is dat het Nederlandse systeem van radiatorenverwarming met een HR-ketel, zonneboiler voor warm tapwater en een gebalanceerd ventilatiesysteem een goede oplossing is.

b. Alternatief is het toevoeren van warmte aan de ventilatielucht met een kleine luchtverwarmer.

Geconstateerd is dat er thans op de Nederlandse markt geen HR-ketels zijn met een voor passiefhuis passende ondergrens qua vermogen. Technisch is het mogelijk HR-ketels met een lager vermogen te maken. Verwacht wordt dat deze bij voldoende marktvaart ontwikkeld worden.

Gebalanceerde ventilatiesystemen met warmteterugwinning dienen aandacht te besteden aan de hoeveelheid ventilatielucht die in de laagste stand wordt gerealiseerd. De minimale hoeveelheid moet worden afgestemd op de behoefte van het gebruik in de ruimte. Dit geldt met name in verblijfsruimten zoals slaapkamers, waar mensen langdurig verblijven. Dimensionering en regeling dienen daarop te zijn afgestemd. Het geluidniveau van een gebalanceerd ventilatiesysteem mag niet meer zijn dan 25 - 30 dB(A), te meer daar in een passiefhuis de buitengeluiden niet meer maskeren. Deze wens sluit aan bij nieuwe eisen die het GIW gaat stellen.

7. De impact van de keuze van de energiebron op het primaire energiegebruik en de CO<sub>2</sub>-emissie voor een passiefhuis is onderzocht voor een viertal situaties:

a. HR-ketel en zonneboiler, koken op gas, elektriciteit voor huishoudelijk gebruik.

b. Gaswarmtepomp voor ruimteverwarming en tapwater, koken op gas, elektriciteit voor huishoudelijk gebruik.

c. Microwarmtekracht voor ruimteverwarming en tapwater, koken op gas, elektriciteit voor huishoudelijk gebruik.

d. Elektrische warmtepomp voor ruimteverwarming en tapwater, koken op elektriciteit, elektriciteit voor huishoudelijk gebruik.

In alle gevallen voldoet de woning aan de gestelde eis van maximaal 15 kWh/m<sup>2</sup> warmtevraag. Alleen variant a waarbij de tapwatervoorziening een zeer laag energiegebruik kent voldoet aan de eis van 120 kWh/m<sup>2</sup> primair. In de drie andere gevallen is het rendement van de tapwatervoorziening te laag om aan de eis van 120 kWh/m<sup>2</sup> te voldoen. In situatie d, gaat bovendien de helft van de CO<sub>2</sub> reductie bereikt in situatie a (ten opzichte van de referentie epc = 0,8) weer verloren, omdat de CO<sub>2</sub> emissie van elektriciteit groter is, en zowel koken als warm tapwater (warmtepompboiler) op basis van elektriciteit plaats vindt.

De eis van maximaal 120 kWh/m<sup>2</sup> aan primaire energie staat enigszins onder druk, indien wordt uitgegaan van gemiddelde elektriciteitsverbruiken in Nederland, zoals gerapporteerd in het BEK onderzoek. Gezien de tendens naar steeds meer elektriciteitsverbruik is het gewenst dat passiefhuis voor het huishoudelijk elektriciteitsverbruik nadrukkelijk aandacht vraagt.

8. Het passiefhuis-concept leidt tot woningen met een energiegebruik dat veel lager is dan bij de huidige epc-eis van 0,8. De benadering van passiefhuis in de PHPP-berekeningssystematiek (passiefhuis rekenmethode) is enigszins afwijkend van de epc-methodiek. Er wordt bij passiefhuis eerst een grens gesteld aan de energievraag voor ruimteverwarming (maximaal 15 kWh/m<sup>2</sup>) en vervolgens een grens aan het totale energiegebruik, uitgedrukt in primaire energie (maximaal 120 kWh/primair/m<sup>2</sup>). Het is echter niet wenselijk om de eisen aan passiefhuis uit te drukken in een epc-eis overeenkomstig de huidige epc-systematiek, omdat geconstateerd wordt dat de epc-eis niet recht evenredig is met primaire energie en CO<sub>2</sub> reductie bij verschillende energiedragers. Het is voor het verkrijgen van een bouwvergunning voor een passiefhuis woning geen probleem om te voldoen aan de huidige eis van epc = 0,8 of lager. De resulterende epc-score voor passiefhuis-concepten liggen in de range van 0,3 – 0,5, en voldoen daarmee ruimschoots aan de huidige Bouwbesluit eis.

9. Het zomercomfort in passiefhuizen voldoet aan de hoogste kwalificaties. Het aanbrengen van zonwering, en het creëren van inbraakveilige zomernachtventilatie- en spui-openingen zijn technische randvoorwaarden daarvoor. Bij goed gebruik van deze voorzieningen, en het feit dat de goede isolatie in de zomer warmte buiten houdt, leidt tot een comfortabel binnenklimaat. Uit temperatuuroverschrijdingsberekeningen (TRNSYS) blijkt dat het aantal uren boven 25,5 graden niet meer is dan 18 uur voor een gietbouwwooning en 97 uur voor een houtskeletbouw-wooning. Beide uitkomsten vallen in de categorie zeer comfortabel (minder dan 100 uur). De mythe dat meer isolatie tot te warme woningen leidt is hiermee weerlegd. In een passiefhuis is mechanische koeling niet nodig.

10. Geconstateerd is dat er enkele standaardproducten voor inbraakveilige zomernacht-ventilatie-openingen op de Nederlandse markt zijn. Kennisoverdracht en voorlichting over het effect van nachtventilatie, en het bewust ontwerpen op passieve koeling van woningen zijn randvoorwaarden om de markt voor standaard zomernacht-ventilatie-openingen te creëren, die ook voldoen aan gangbare eisen zoals Politiekeurmerk.

11. Het comfort in de winter in een passiefhuis kenmerkt zich door een egale temperatuur in de gehele woning binnen de geïsoleerde schil. Het aanbrengen van relatief dure voorzieningen zoals vloerverwarming is in een passiefhuis niet nodig, omdat de warmtevraag incidenteel is. De oppervlaktetemperaturen van vloeren, wanden en glas zijn reeds zodanig dat compensatie met een warm vlak niet nodig is.

12. De investeringskosten voor een passiefhuis in Nederland worden geschat op 12.000 tot 15.000 Euro. Bij stijgende energieprijzen leiden deze investeringskosten vanaf het 12e jaar tot cumulatief lagere woonlasten. Het is op basis van buitenlandse gegevens te verwachten dat het meerkostenniveau voor passiefhuis kan dalen tot onder de 10.000 Euro per woning, zodra de technieken bekend zijn geworden bij ontwerpers en de uitvoerende bouw. Bij een niveau van 6.000 Euro per woning is een passiefhuis vanaf het eerste jaar goedkoper dan een epc 0,8 woning.

13. Nederland heeft een aanbod gestuurde woningmarkt. De bewoner baseert de woningkeuze, uit het soms schaarse aanbod, op aspecten als locatie en uitstraling en is minder geïnteresseerd in de bouwkwaliteit en de exploitatiekosten van de woning. De bewoner is niet bekend met de specificaties van zijn woning, zoals bijvoorbeeld de energetische kwaliteit. Wanneer er een vraaggestuurde markt is, kan er vanuit de bewoners meer vraag naar passiefhuizen ontstaan. De bekendheid met het concept is echter nog zeer beperkt. Aangezien de markt in Nederland aanbod gestuurd is, is het belangrijk met name gemeenten, aanbieders en ontwikkelaars van woningen bekend te maken met het passiefhuis.

Parallel aan deze studie vinden diverse passiefhuis-ontwikkelingen plaats. Zo is er het Europese project PEP (Promotion of European Passive Houses). Vanuit Nederland nemen ECN en DHV deel aan het project. In Nederland is de stichting Passief Bouwen.nl opgericht met het oogmerk passief bouwen in Nederland te stimuleren en op termijn de certificering van passief bouwen te organiseren. Anno 2006 zijn de eerste grootschalige projecten van passiefhuizen in voorbereiding.



# Colofon

Uitgave: Rockwool Benelux BV / BuildDesk Benelux BV

Tekst en samenstelling: Chiel Boonstra, Ragna Clocquet, Loes Joosten, DHV BV

Vormgeving: Maurits Malherbe, DHV BV

## Bijdragen

Voorwoord: dhr. Chr. Zijdeveld, voorzitter PassiefBouwen.nl

Hst 3: Principe van passiefhuis, dhr. P. Heijnen, SenterNovem, Sittard

Hst 4: Thermische isolatie, mw. A. Schuurmans, Rockwool Benelux BV, Roermond

Hst 5: Luchtdichting, dhr. E. Mlecnik, passiefhuis-platform vzw, Berchem, België

Hst 6: Koudebruggen/details: dhr. J. Hoekstra, VDM-Woningen, Drachten

Hst 7: Kozijnen en beglazing: dhr. A. de Boer, De Vries Kozijnen, Gorredijk

Hst 8: Thermisch comfort, dhr. J.M. Boonstra, DHV BV, Eindhoven

Hst 9: Ventilatie: dhr. A. de Graaff, J.E. StorkAir, Zwolle

Hst 10: Installaties verwarming en warm tapwater: dhr. T. Bokhoven, ConSolair BV, Gouda

Hst 11: Huishoudelijke apparaten: dhr. A. Meijer, BuildDesk Benelux BV, Roermond

Hst 12: Trends in Nederland: dhr. P. Hameetman, BAM Vastgoed BV, Capelle aan den IJssel

## Bronvermelding foto's

Kaft: Corné Bastiaansen Fotografie

Pag. 2, 10, 110-111, 112: Rockwool Benelux BV, Roermond

Pag. 14, 19, 107: Passiefhuis De Kroeven, Roosendaal, architect: Han van Zwieten architecten bna, Amersfoort, architecten@hanvanzwieten.nl; Opdrachtgever: Aramis Wonen, Roosendaal

Pag. 17, 36, 52: Passiefhuisarchitect Christophe Debrabander, Zwalm, België, www.archicd.be

Pag. 20: W&R woning, BAM Woningbouw bv, Bunnik

Pag. 26, 32: BuildDesk Benelux B.V

Pag. 29, 30, 49, 50, 51: Montage en foto Landhuis Surhuisterveen, VDM Woningen, Drachten

Pag. 21, 22, 26, 35, 38, 39, 40, 41, 58: Architectuur en beeldmateriaal: uitvoerend architect Bart Cobbaert, Gent, België, www.denc-studio.be

Pag. 42, 46: Loes Joosten, DHV

Pag. 55: INEFA Nederland, Smilde

Pag. 60, 61: Passiefhuizen, Göteborg, Hans Eek, Göteborg, Zweden

Pag. 68, 71: J.E. StorkAir, Zwolle

Pag. 73: Passivhaus Institut Darmstadt

Pag. 76: Holger Luebbe

Pag. 91: Maurits Malherbe, DHV BV

Pag. 94: Marly Koole, DHV BV

Pag. 74, 83, 84, 92, 93, 101, 102-103, 105: Ragna Clocquet, DHV BV

Overige foto's: DHV BV

### **Bronvermelding figuren**

Fig. 6: W&R woning, BAM Woningbouw bv, Bunnik

Fig. 7 t/m 9, 15: Architectuur en beeldmateriaal: uitvoerend architect Bart Cobbaert, Gent, België

Fig. 10 t/m 14: VDM Woningen, Drachten

Fig. 16: Passiefhuisarchitect Christophe Debrabander, Zwalm, België / Chiel Boonstra, DHV BV

Fig. 17, 18: VDM Woningen, Drachten

Fig. 21, 22: BAM Woningbouw bv, Bunnik

Fig. 28 t/m 31: Architectuur en beeldmateriaal: uitvoerend architect Bart Cobbaert, Gent, België

Fig. 40 t/m 42: VDM Woningen, Drachten

Fig. 43: Architectuur en beeldmateriaal: uitvoerend architect Bart Cobbaert, Gent, België

Fig. 44, 45: Loes Joosten, DHV BV

Fig. 46, 49: INEFA Nederland, Smilde,

Fig. 47: BAM Woningbouw BV, Bunnik

Fig. 48: Chiel Boonstra, DHV BV

Fig. 50: Passivhaus Institut Darmstadt

Fig. 51: Hans Eek en Hans Grönlund, EFEM, Göteborg, Zweden

Fig. 52 t/m 54: Energieonderzoek Centrum Nederland, Petten

Fig. 55: VDM Woningen, Drachten

Fig. 56, 58: Chiel Boonstra, DHV BV

Fig. 57: Energieonderzoek Centrum Nederland, Petten

Fig. 60: Hans Eek, Göteborg, Zweden

Fig. 61: Intergas Verwarming BV, Coevorden

Fig. 62: Milieucentraal

Overige figuren: DHV BV

### **Bronvermelding tabellen**

Tabel 2: Technisch Adviesbureau Krone

Tabel 5 t/m 7: Energieonderzoek Centrum Nederland, Petten

Tabel 12 t/m 14: Milieucentraal

Overige tabellen: DHV BV









**build<sup>1</sup>desk**  
save your energy

**ROCKWOOL**  
BRANDVEILIGE ISOLATIE

 **bam**  
vastgoed

**VDM**

  
**SenterNovem**

**BHV**

 **Passief**  
Bouwen.nl

ISBN-13: 978-90-75365-81-8



9 789075 365818 >