



bron: SEV Energiesprong

TOEKOMST **PASSIEFHUIS** ZUKUNFT PASSIVHAUS

Fachhochschule
Münster University of
Applied Sciences



HBZ 
HANDWERKSKAMMER
MÜNSTER

INSTALLATIETECHNIEK VOOR PASSIEFWONINGEN



INSTALLATIETECHNIEK

VOOR PASSIEFWONINGEN

EEN HANDLEIDING VOOR OPDRACHTGEVERS, BOUW- EN INSTALLATIEBEDRIJVEN,
ARCHITECTEN EN BOUWADVISEURS.

Impressum

Titel

Installatietechniek voor Passiefwoningen

Auteur en redactie

Ir. Jan de Wit
Ir. Joop Ouwehand
Ir. Frank Müthing
Kenniscentrum Levomgeving,
Saxion

voor de Duitse versie:

Dr. Andreas Müller
Kompetenzzentrum Bau und Energie der
Handwerkskammer Münster

Uitgever

Handwerkskammer Münster
Bismarckallee 1
48151 Münster
Brochure, uitgebracht in het kader van het project
„Toekomst Passiefhuis”

Druk

September 2012

INHALTSVERZEICHNIS

1. Voorwoord	6
2. Inleiding	8
3. Klimatologische omstandigheden	11
4. Welke installatietechniek is geschikt voor passief huizen?	13
5. Ventilatie	14
6. Verwarming	17
7. Tapwater	20
8. Zonne energie	21
9. Waarom moeten bewoners hun gedrag in passief- woningen aanpassen?	24
10. Installatie keuze	26
11. Wat is de huidige praktijk in Nederland (2012) bij installaties voor passiefhuizen?	27
12. Bibliografie	29

1. VOORWOORD

Energiebesparing in de gebouwde omgeving is onderdeel van het nationale beleid om de emissie van broeikasgassen, de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen te verminderen en het gebruik van duurzame energiebronnen te stimuleren. De energiezuinigheid van woningen en gebouwen komt tot uitdrukking in de Energie Prestatie Coëfficiënt (EPC), berekend volgens de Energie Prestatie Norm voor Gebouwen (EPG, NEN 7120). Hoe lager de EPC waarde, hoe energiezuiniger de woning of het gebouw. Volgens de huidige Nederlandse wetgeving geldt vanaf 1 januari 2011 voor de nieuwbouw van woonhuizen $EPC=0,6^1$. Vanaf 2015 wordt dit $EPC=0,4$, en vanaf 2020 geldt: $EPC=0$.

Om energiezuinigheid en wooncomfort te bereiken is in Duitsland de zogenaamde Passief Huis methodiek ontwikkeld waarbij de gewenste energiezuinigheid met extreme isolatie en luchtdichtheid wordt bereikt. Om te bepalen of een huis een passief huis genoemd mag worden wordt de zogenaamde PHPP (Passiv Haus Projectierungs Paket) rekenmethodiek gebruikt.

¹ *Energie Prestatie Coëfficiënt: indexgetal voor de energieprestatie voor nieuwbouw ten opzichte van een beschreven referentie gebouw. In Duitsland geldt de „Energie Einsparverordnung“ als wettelijk instrument.*

Verschillen tussen de EPC/EPG en PHPP methodiek

De EPC waarde wordt geschaald voor de gebruiksoppervlakte en verliesoppervlakte – het buitenoppervlak – van de woning. Bij de PHPP methodiek wordt op de gebruiksoppervlakte geschaald. Een nieuw passief huis mag niet meer dan kWh/m²/jaar warmte per gebruiksoppervlak gebruiken en niet meer dan 120 kWh per m² per jaar totaal primaire energie. Dit betekent dat een woning die een ongunstige geometrie heeft – veel verliesoppervlak ten opzichte van gebruiksoppervlak ofwel een ongunstige A/V verhouding – in de PHPP methodiek beter geïsoleerd moet zijn om aan de passief eisen te voldoen dan een woning met een gunstiger A/V verhouding. Binnen de EPC methodiek wordt via de schaling op het verliesoppervlak rekening gehouden met de A/V verhouding om de EPC waarde te berekenen. Jaarlijks wordt in Nederland circa 1% van het bestaande woningbestand gesloopt en vervangen. Dat zijn tussen de 60.000 en 70.000 nieuwe woningen die aan de dan geldende EPC-eis moeten voldoen. Deze getallen zijn nu (2012) lager vanwege de economische crisis. De renovatie van de bestaande woningbouw, waarvoor de energieneutraliteit in 2050 bereikt moet zijn, levert echter het grootste potentieel voor de energiebesparing in de woningbouw op.

Aan energiezuinige bouw werd zeker in de naoorlogse periode vanaf 1945 tot aan 1973 weinig aandacht besteed. Ingrijpende

energetische renovatie is een manier om deze besparing te bereiken en er tevens voor te zorgen, dat de energielasten in de toekomst laag blijven.

Het energieverbruik van een zekere bestaande woning wordt grosso modo bepaald door de volgende factoren:

1. De staat van de bouwkundige schil (isolatie, luchtdichtheid)
2. De aanwezige installaties voor ruimteverwarming, -koeling, ventilatie, verlichting en warm tapwater
3. Het bewonersgedrag, de huishoudelijke apparaten en overige apparatuur (audio/video, PC's, etc.)

Doordat een passiefhuis een zeer goede luchtdichtheid heeft en slechts weinig energie gebruikt voor ruimteverwarming, licht, veel meer dan in de gangbare nieuwbouw, de nadruk op a) goede ventilatietechniek en b) het voorkomen van oververhitting in de zomermaanden bij een hoge zonbelasting. Uiteraard heeft de interne warmtelast door personen en apparaten grote invloed op deze mogelijke oververhitting.

Hiermee moet goed rekening gehouden worden bij het ontwerp van de passief woning en zijn installaties.

Pas in de derde plaats krijgt c) ruimteverwarming de aandacht. Deze post is relatief ondergeschikt en vormt slechts een gering aandeel in de totale energievraag van passiefwoningen. Bij traditionele, meestal matig tot slecht geïsoleerde bestaande woningen met een lage luchtdichtheid, waar de warmtevraag voor ruimteverwarming de totale energievraag domineert, ligt dit geheel anders. Traditioneel ligt hier de nadruk op de verwarmingsinstallatie.

Deze brochure is een handleiding voor de installatietechniek van Passiefhuizen, en richt zich dus specifiek op installaties die geschikt zijn voor passiefhuizen.

Invloed van de bewoners en het bewonersgedrag

Uit verschillende tevredenheidsonderzoeken onder bewoners van nieuw gebouwde woningen komt steeds weer naar voren dat zij weinig of niet betrokken werden bij het ontwerp en de realisatie en daardoor geen invloed konden uitoefenen op het uiteindelijke resultaat.

Door de huidige stagnatie op de (nieuwbouw)woningmarkt en het feit dat er veel energetisch renovatie potentieel in bestaande bouw is, verandert ook de positie van de gebruiker als vragende partij in de woningmarkt.

Belangrijke ijkpunten in de nieuwbouw en renovatie markt van woningen in de toekomst zijn:

1. Tevredenheid van de gebruiker, toegespitst op binnenklimaat en comfort
2. Energieprestatie en -kosten
3. Totale Kosten voor de gebruiker van de woning gedurende de tijd dat hij de woning bezit of huurt

Bij passief huizen worden deze ijkpunten goed in gaten te worden gehouden. Met name aan ijkpunt 1 dient meer dan gebruikelijk aandacht besteed te worden (stuk met highlight vervalt).

Als algemene methode om de volgorde van ontwikkeling en ontwerp naar kosteneffectieve energiezuinigheid vast te stellen wordt veelal de Trias Energetica gebruikt. Deze methode geeft aan dat a) besparen en verminderen van gebruik voorafgaat aan b) de toepassing van lokale duurzame energie. Waarbij de toepassing van duurzame energie weer voorafgaat aan c) het eventueel importeren (of exporteren) van energietekorten of overschotten. Hierbij dient de geïmporteerde energie zo duurzaam mogelijk te zijn. Het passief huis geeft een goede invulling aan de Trias Energetica door bij a) besparen „alles uit te kast te halen“ door extreme isolatie, luchtdichtheid en het optimaal terugwinnen van warmte uit ventilatielucht en douche water.

Door het vervolgens voorschrijven van zonnecollectoren voor warm tapwater en het toepassen van de – overigens niet voorgeschreven – PV panelen kan energieneutraliteit op jaarbasis ($EPC=0$) meestal op de goedkoopste wijze worden bereikt.

Naast energiezuinigheid beoogt het passiefhuisconcept een uitstekend binnenklimaat en een hoog comfortniveau, o.a. door het ontbreken van tocht en koudeval bij vensters en deuren. Vaak wordt bij optimalisering van een energiesysteem – dus ook en passief huis – de Trias Energetica gehanteerd.

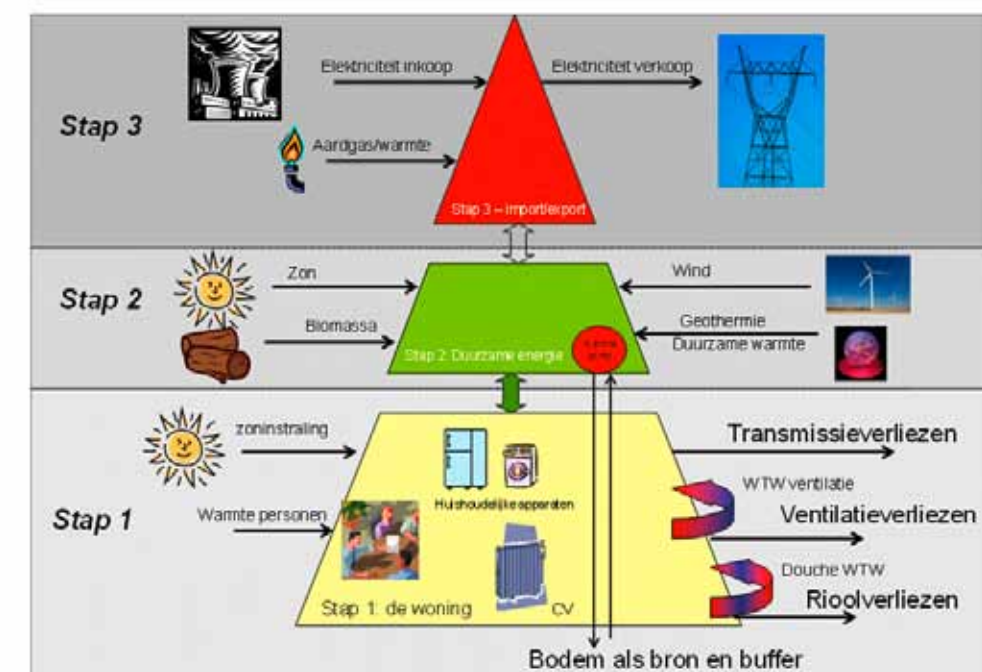
Hierbij geldt:

stap 1: besparen.

Stap 2: inzet van zoveel mogelijk duurzame lokale energie.

Stap 3: inkoop van zo min mogelijk en zo duurzaam mogelijk opgewekte energie. Eventuele overschotten aan zelf opgewekte energie kunnen overigens aan het openbare net worden verkocht op salderingsbasis.

Door besparingen in stap 1 wordt de energietoevoer vanuit stap 2 geminimaliseerd, hetgeen de kosten van duurzame opwekinstallaties – de kosten van duurzame wordt vooral bepaald door capaciteit van de installaties want de duurzame energie zelf is gratis – eveneens minimaliseert. Idealiter wordt tussen stap 2 en 3 op jaarbasis gemiddeld geen energie meer geïmporteerd (wel verkoop van overschotten in de zomer en terugkoop van tekorten in de winter).



bron: de Wit

Trias Energetica

2. INLEIDING

Wat is een passiefhuis en wat is het verschil met de huidige woningen?

Een passiefhuis is een zeer energiezuinige woning, die ook een hoog comfortniveau biedt. Het woord passief in passiefhuis wil zeggen, dat een actief verwarmingssysteem (vrijwel) overbodig is door zeer goede isolatie, door luchtdicht bouwen en door het terugwinnen van warmte uit ventilatielucht. Daarnaast wordt gestreefd naar zoveel mogelijk passieve benutting van zonne-energie. Bijvoorbeeld door zonwering te ontwerpen die zonlicht toelaten in de winter, terwijl zonlicht in de zomer juist geweerd wordt. Door de goede isolatie en winddichtheid maakt een passiefhuis ook zo goed gebruik mogelijk van interne warmtebronnen, zoals personen en elektrische apparaten.

Om te bepalen of een woning een passiefhuis is, wordt de Duitse rekenmethodiek PHPP (Passive House Planning Package) gebruikt [1]. Deze rekenmethodiek heeft een aantal ijkpunten.

De energetische eisen waaraan een passiefhuis moet voldoen zijn:

- Maximaal 15 kWh/m²/jaar vloeroppervlak voor ruimteverwarming/ koeling per jaar bij nieuwbouw of maximaal 25 kWh/m²/jaar vloeroppervlak bij renovatiebouw en;
- Maximaal 120 kWh primaire energie/m²/jaar vloeroppervlak voor de gehele nieuw te bouwen woning (incl. huishoudelijke apparaten) per jaar of maximaal 130 kWh primaire energie/m²/jaar bij renovatie bouw.

Het ontwerp van een passiefhuis is erg klimaatafhankelijk en afhankelijk van de plaatstelijke bouwregelgeving. Passiefhuizen zijn in sommige landen wel 10 keer energiezuiniger dan de referentie nieuwbouwwoningen die aan de minimale bouwvoorschriften voldoen. In andere landen is dit „slechts“ 3 keer, zie bijgaande figuur.



Voorbeeld van een passiefhuis (Velve Lindenhof Enschede)

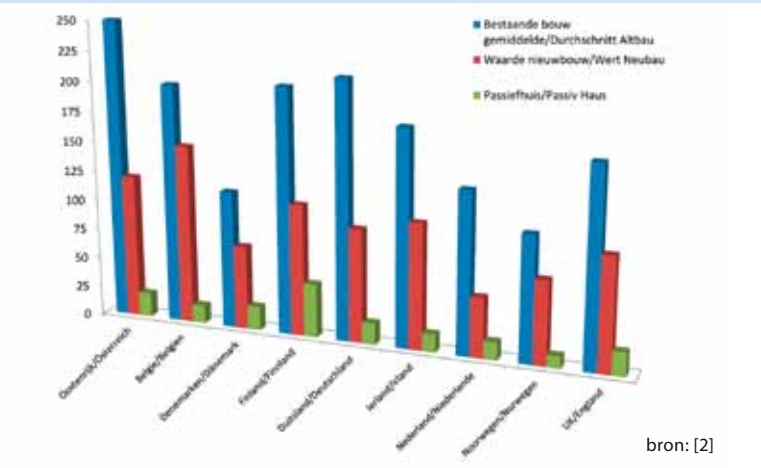
De energiekosten van een passiefhuis zijn, door de energiebesparing, een stuk lager dan referentiewoningen die aan het bouwbesluit voldoen. In veel gevallen compenseert dit de iets hogere stichtingskosten (en dus hypotheeklasten) van een passief huis.

Doordat de energiekosten in de toekomst waarschijnlijk zullen stijgen, wordt dit verschil steeds groter en dalen de woonlasten van een passiefhuis ten opzichte van woningen conform bouwbesluit. In deze figuur wordt een passiefhuis vergeleken met een referentiewoning met een EPC van 0,8.

De EPC is de Energie Prestatie Coëfficiënt, die in Nederland gebruikt wordt om aan te geven hoe energiezuinig de woning is. Hoe lager de EPC waarde, des te energiezuiniger de woning. De maximale waarde wordt voor nieuwbouwwoningen door het Nederlandse bouwbesluit (highlight verwijderen) steeds verder verlaagd, om energiezuinigheid te stimuleren.

maximaal toelaatbare EPC-waarde voor nieuwbouwwoningen

Datum	Maximale EPC-waarde nieuwbouwwoningen
15-12-1995	1,4
01-01-1998	1,2
01-01-2000	1,0
01-01-2006	0,8
01-01-2011	0,6
Medio 2015	0,4 (passiefhuisniveau)
01-01-2020	0,0



passiefhuizen in een aantal Europese landen energetisch vergeleken met het bestaande woningbestand en typische nieuwbouwwoningen in die landen [2]

De EPC/EPG en de PHPP methodiek zijn niet één op één met elkaar te vergelijken

De EPC waarde wordt geschaald voor de gebruiksoppervlakte en verliesoppervlakte – het buitenoppervlak – van de woning. Bij de PHPP methodiek wordt op de gebruiksoppervlakte geschaald. Een nieuw passief huis mag niet meer dan 15 kWh/m²/jaar warmte per gebruiksoppervlak (renovatiebouw: 25 kWh/m²/jaar).

Dit betekent dat een woning die een ongunstige geometrie heeft – veel verliesoppervlak ten opzichte van gebruiksoppervlak ofwel een ongunstige A/V verhouding – in de PHPP methodiek beter geïsoleerd moet zijn dan een woning met een gunstiger A/V verhouding. Binnen de EPC methodiek wordt rekening gehouden met de A/V verhouding om de EPC waarde te berekenen.

Daarnaast wordt de EPC waarde van een woning geheel bepaald door het gebouwgebonden deel van het energiegebruik. Dit is het energiegebruik voor klimatiseren (verwarmen, koelen, ventileren), verlichten en warm tapwater. Energiegebruik voor apparaten (koken, wassen, koelen, etc.) het gebruiksgebonden energiegebruik wordt buiten beschouwing gelaten. Het totale primaire energieverbruik (gebouwgebonden én gebruiksgebonden) van passief huizen mag daarentegen volgens de PHPP methodiek niet boven 120 kWh/m²/jaar komen (renovatiewoningen: 130 kWh/m²/jaar).

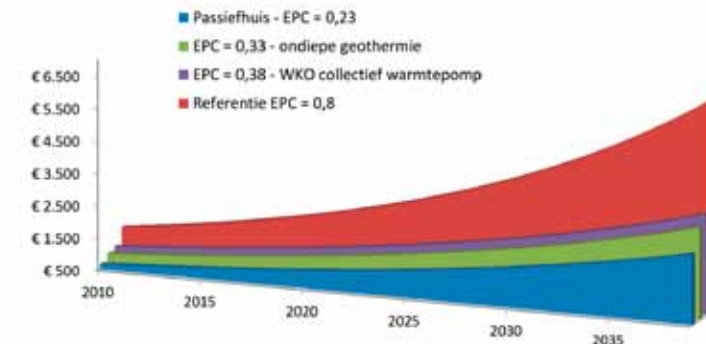
In bijgaande figuur wordt het verschil tussen passiefhuis en een woning met een EPC van 0,8 (huidige eis: EPC=0,6) weergegeven op de thema’s waarmee de EPC rekent.

Met enige fantasie zou men kunnen stellen dat de Nederlandse overheid de toepassing van passief bouw impliciet adviseert door in 2015 een EPC waarde van 0,4 voor te schrijven.

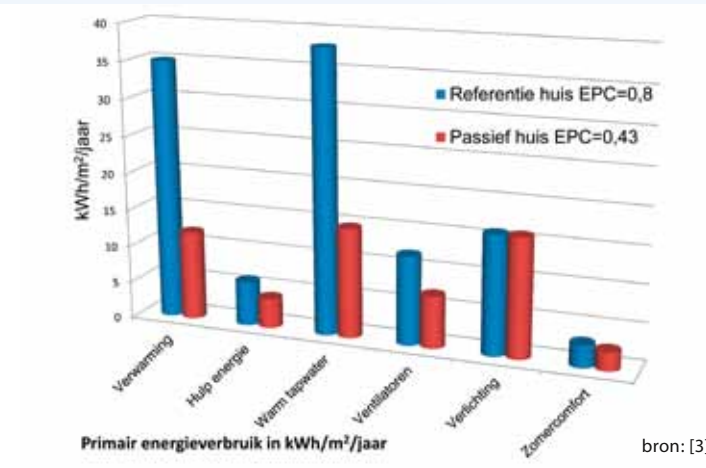
Onderzoek van het Energie Centrum Nederland toont aan dat de warmtevraag voor ruimteverwarming in de EPC methodiek onderschat wordt ten opzichte van de PHPP methodiek, terwijl het water- en warm tapwaterverbruik in de PHPP methodiek onderschat wordt ten opzichte van de EPC methodiek [4]. Het grote verschil in primair tapwatergebruik wordt veroorzaakt door enerzijds het gebruik van een zonneboiler bij het passiefhuis en anderzijds het feit dat de EPC/EPG rekenmethode van een veel grotere tapwaterbehoefte uit gaat dan PHPP.

Waarvoor zijn installaties in passiefhuizen nodig?

Zoals gesteld wordt met passief bouw getracht het energiegebruik zo laag mogelijk te krijgen en energieverbruik dus zoveel mogelijk overbodig te maken. Toch zijn ook in passiefhuizen installaties nodig om een goed binnenklimaat te handhaven en om in de behoefte aan warm tapwater te voorzien.



jaarlijkse energielasten passiefhuis (in euro), vergeleken met verschillende andere varianten [3]



vergelijking van het primaire energiegebruik van een passiefhuis en een EPC=0,8 woning [3]

De dimensionering en de prioriteit van de installaties ligt echter duidelijk anders dan in traditionele woningen:

1. Een goed ventilatiesysteem met warmteterugwinning essentieel voor de gezondheid in passiefhuizen vanwege de is – uit oogpunt van energiegebruik – zeer hoge luchtdichtheid van passiefhuizen. Een passiefhuis is ook zonder de ramen te openen hygiënisch: de luchtkwaliteit is in huizen met een ventilatiesysteem hoog, terwijl schadelijke stoffen, kooldioxide, luchtjes en hoge luchtvochtigheid door een continue luchtstroom direct afgevoerd worden.
2. Door de zeer goede isolatie en luchtdichtheid is het risico van oververhitting de zomer groot. Installatietechnische voorzieningen en bouwkundige voorzieningen om dit tegen te gaan zijn dus van groot belang. Uiteraard met zo min mogelijk (primair) energiegebruik.

- Er is ook in een passief huis enige warmte nodig om de warmteverliezen in de midwinterperiode te compenseren. Hiervoor is een verwarmingsinstallatie nodig.
- Tot slot is er in een passief huis warmte nodig voor warm tapwater en huishoudelijke processen zoals koken. Deze installaties zijn voor passiefhuizen niet wezenlijk anders dan voor traditionele huizen. Energiezuinigheid van apparaten (liefst A+++) is uiteraard gewenst in verband met a) energiezuinigheid én b) de vermindering van de verstoring van het binnenklimaat.

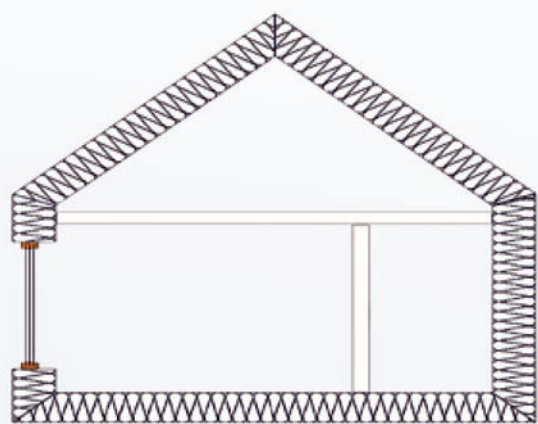
Passiefhuizen zijn dus niet energieneutraal, maar een passief huis is wel een uitstekend middel om conform de Trias Energetica (zie boven) eenvoudig en relatief goedkoop tot een energieneutraal huis te komen.

Door het geringe warmteverbruik – die wordt in een passiefhuis gedomineerd door de warmte voor warm tapwater – is het grootste deel van de energievraag elektriciteit. Deze elektriciteit kan worden opgewekt met PV panelen. Overschotten aan elektriciteit kunnen worden opgeslagen of – dit is economisch en energetisch (nog) aantrekkelijker – verkocht worden met het elektriciteitsnet.

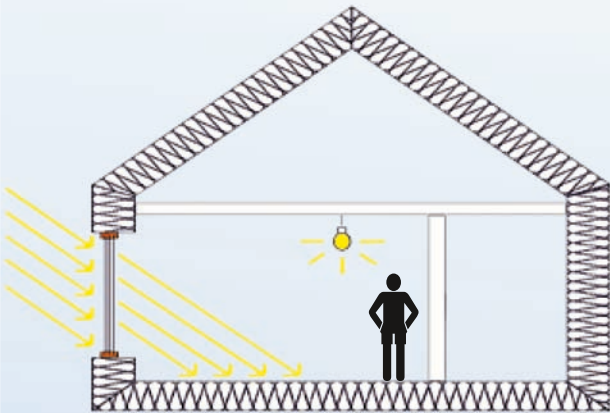
Passief huizen zijn dan ook zeer geschikt voor een „all electric“ energie infrastructuur, omdat de geringe warmtevraag eenvoudig met een kleine warmtepomp en/of met actieve zonne-energie uit zonnecollectoren kan worden opgewekt.

De prioritering die hierboven wordt aangehouden is voor traditionele huizen overigens totaal anders. Van oudsher was er veel aandacht voor de ruimte verwarming, waarbij centrale verwarming gangbaar werd in de jaren '60 en daarmee de energiever-spilling. Aan ventilatiesystemen werd weinig tot geen aandacht besteed doordat de woningen erg „lek“ waren en de werkelijke – natuurlijke – ventilatie niet zelden 5 tot 10 keer zo groot was als vereist. Hierdoor was het dichten van kieren vervolgens ris-kant door het ontbreken van een ventilatiesysteem. Hierdoor was het risico van oververhitting overigens minder groot, ook al door de wat koelere zomers dan thans.

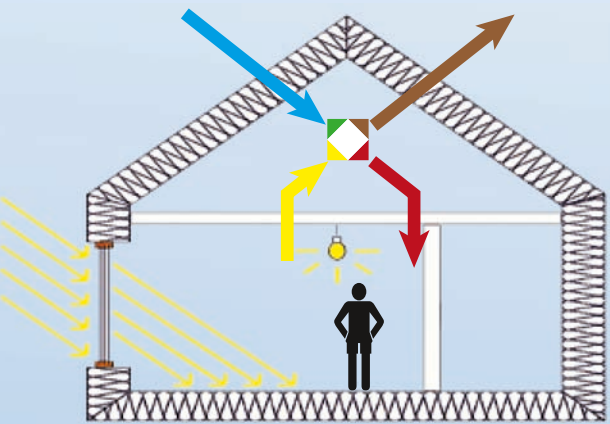
Het is van groot belang dat ontwerpers en installateurs van installaties in passiefhuizen zich deze omwenteling in installatie prioriteit goed realiseren en navenant handelen.



„INPAKKEN“



BESTAANDE WARMTE BENUTTEN



WARMTE TERUGWINNEN
EN OPNIEUW GEBRUIKEN

3. KLIMATOLOGISCHE OMSTANDIGHEDEN

Aan welke eisen en randvoorwaarden moeten de klimaat installaties voldoen?

Bepalend voor de keuze en het ontwerp van klimaatinstallaties zijn de omstandigheden waaronder deze installaties moeten functioneren. Deze worden bepaald door:

- Het lokale buitenklimaat, de kavelgrootte, de (mogelijke) zon oriëntatie;
- Het bouwkundig ontwerp , de A/V verhouding, de grootte, de isolatiegraad;
- Het gebruik van de woning en mogelijk aanvullende eisen (bv met betrekking tot flexibiliteit van indeling)

Het ontwerp is dus van vele factoren afhankelijk: dé installatie voor passiefhuizen bestaat derhalve niet.

Een passiefhuis is geoptimaliseerd voor het klimaat en de omge-ving waarin het gebouwd wordt. Nog voordat het passiefhuis ontworpen wordt, worden de volgende omgevingsafhankelijke factoren (nadere uitwerking van punt 1 boven) bepaald:

- breedtegraad gekoppeld aan de zonnestand
- Temperatuur (gemiddelde, minimum en maximum per maand en per jaar)
- Aantal zonuren en graaddagen (per maand en per jaar)
- Luchtvochtigheid gedurende het jaar
- Microklimaat gegevens, zoals lokale winden, vegetatie en obstakels (denk aan schaduwwerking van bomen en omlig-gende gebouwen)

Deze omgevingsfactoren kunnen omgezet worden in eisen per seizoen:

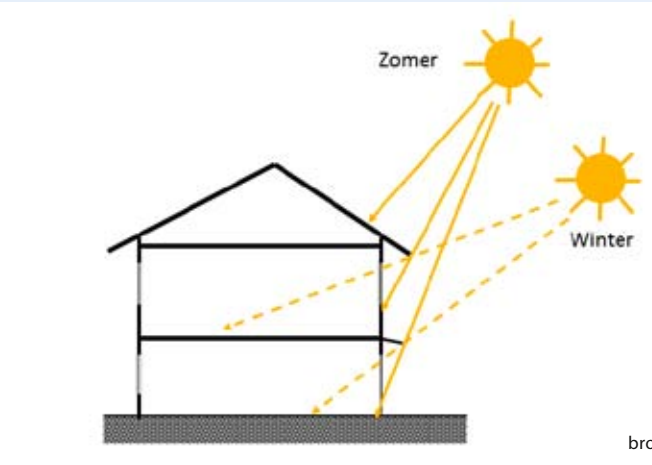
Winter

Uitgangspunt is dat in de winter zoveel mogelijk zonlicht opge-vangen moet worden. Al in het ontwerpfase van een passiefhuis wordt rekening gehouden met de stand van de zon. In de win-ter, wanneer het zonlicht zoveel mogelijk doorgelaten dient te worden, staat de zon laag. Door gebruik te maken van een over-stek wordt zonlicht in de winter doorgelaten en in de zomer geweerd.

Verder wordt een passiefhuis in koude streken gebouwd met de meeste beglazing gericht op het zuiden (of eigenlijk: het zuid-oosten om het licht en de warmte van de opgaande zon zoveel mogelijk binnen te krijgen). Passiefhuizen zijn daarom vaak ook langer in de oost-west as dan in de noord-zuid as.

Een passiefhuis heeft de verwarmingsinstallatie voor ruimtever-warming alleen in de wintermaanden nodig. Het vermogen van een strijkijzer (1,5 kW) is dan voldoende om een passiefhuis van 100 m² op temperatuur te houden. In Nederland worden slaap-kamers vaak alleen bij extreme kou verwarmd. Belangrijk is daarom om trapopeningen af te sluiten van verwarmde ruimten, zodat slechts de benedenverdieping verwarmd hoeft te worden. Ook de aanzuiging van buitenlucht voor ventilatie heeft speciale eisen voor het winterseizoen. Zo moet voorkomen worden dat de instromende koude lucht's winters een temperatuur onder het vriespunt heeft. Om bevrozing en dus schade aan het venti-latiesysteem te voorkomen moet de lucht worden voorver-warmd. Dit kan op verschillende manieren:

- Voorverwarming door middel van een warmteterugwin-unit, waarbij afgezogen vertrekucht de koude buitenlucht in een warmtewisselaar voorverwarmd; Dit is overigens de standaard voor passief huizen.
- In aanvulling op 1: Voorverwarming van verse ventilatielucht door gebruik te maken van bodemwarmte. Dit heeft als voor-deel dat in de zomer de bodem voor koeling gebruikt kan worden;
- In aanvulling op 1 en mogelijk op 2: voorverwarmen in een serre gericht op het zuiden;



bron: HBZ

een passiefhuis wordt zo ontworpen dat zonlicht in de winter wordt door-gelaten en in de zomer geweerd wordt

Minimum eisen Passiefhuis

Aspect	Maximale waarde
Isolatie dichte geveldelen	Minimaal Rc > 6,5 m²K/W voor geveldelen, Rc = 10 m²K/W voor vloeren en daken
Koudebrug vrij bouwen	$\lambda < 0,01 \text{ W/(m.K)}$
Zeer goede luchtdichting	$N_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$; $q_{v10\text{kat}}=0,15 \text{ dm}^3/\text{s/m}^2$
U-waarde ramen en deuren (beglazing inclusief kozijn)	$U < 0,8 \text{ W/(m}^2.\text{K)}$
Ventilatie	Gebalanceerde ventilatie met HR-WTW
Tapwater	Zonneboiler

In de winter kan het comfort worden verhoogd door bevochtiging van lucht. De koude buitenlucht buiten heeft een lage absolute luchtvochtigheid. Bij opwarming zonder bevochtiging verandert de absolute hoeveelheid vocht in de lucht niet, met als gevolg dat de lucht binnenshuis te droog is. Veel mensen krijgen dan last van rode ogen of een jeukerige huid.

Voorjaar en Najaar

Ook in het voor- en najaar moet zoveel mogelijk zonlicht worden opgevangen. Doel in deze tijd moet zijn dat de warmtevraag zo laag mogelijk is en dat dus de verwarmingsinstallatie zo weinig mogelijk aan staat. Invallend zonlicht moet zowel zorgen voor warmte in de woning, als voor verlichting in de vertrekken. Een goed ontworpen passiefhuis heeft geen extra verwarmingsvermogen voor ruimteverwarming nodig in het voorjaar en overdag geen (kunst)verlichting. Doordat de herfst vaak minder zonnig is dan het voorjaar, is het op koude herfstdagen wellicht extra ruimteverwarming nodig en zal de verlichting overdag soms aan zijn. Overigens bestaat ook in het voor- en najaar het risico van oververhitting, vooral bij de aanwezigheid van veel personen (feestje).

Zomer

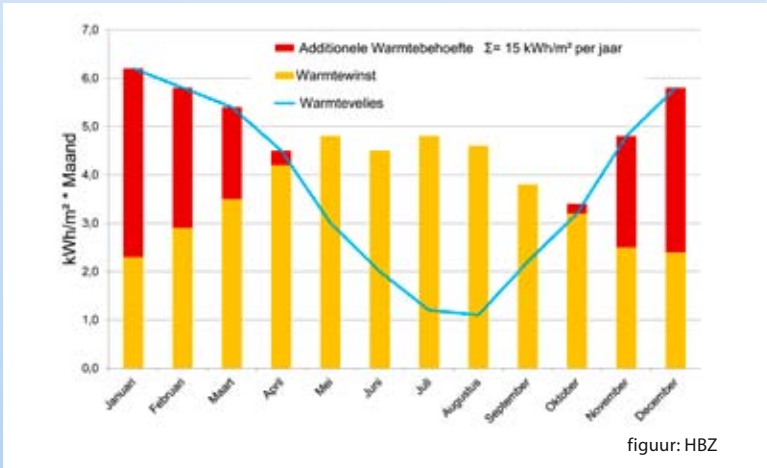
In de zomer moet de warmte van de zon geweerd worden. Zou dat niet gebeuren, dan stijgt de temperatuur in de woning snel en door de goede isolatie koelt het vervolgens minder snel af. In de maanden mei t/m september is er een warmteoverschot door invallend zonlicht. De mate van zomercomfort is gedefinieerd als een frequentie van temperatuuroverschrijding boven een bepaalde waarde. De PHPP methodiek en de EPC hanteren een bovengrens van 25 °C. Bij een passiefhuis mag niet meer dan 5 % van alle uren in het jaar de binnentemperatuur boven de 25 °C komen. Het verminderen van oververhitting kan op verschillende manieren gebeuren. Het weren van, bij een passiefhuis indirect (!), invallend zonlicht geschiedt het beste dak overstekken (onderdeel van het bouwkundig ontwerp) en door een buitenzonwering (onderdeel van het installatietechnisch ontwerp). Daarnaast het aan te raden zoveel mogelijk gebruik te maken van zogenaamde (zomer)nachtkoeling. Dit betekent dat's nachts, wanneer de buitentemperatuur laag is, geventileerd wordt, terwijl overdag ventilatie zo veel mogelijk wordt voorkomen om de warme lucht buiten te houden. De woning koelt hierdoor meestal voldoende af, indien een ventilatievoud van minimaal 4x per uur gehanteerd wordt. De thermische traagheid van de woning en het interieur leidt ertoe dat de binnentemperatuur gedurende de dag graden lager blijft dan zonder nachtventilatie mogelijk is. In combinatie met goede zonwering en balansventilatie gedurende de dag, is in veel gevallen op energiezuinige wijze een goed binnenklimaat te bereiken. Indien een warmtepomp met bodembron wordt gebruikt voor ruimteverwarming, dan kan dit systeem op energiezuinige wijze worden gebruikt voor koeling. De warmtepomp heeft in de winter gezorgd voor afkoeling van de bodem.



Door het aanzuigen van verse ventilatielucht via een bodempijp wordt deze voorgekoeld in de zomer en voorverwarmd in de winter



Voorverwarmen ventilatielucht met een serre



Energiebalans per maand van een passiefhuis eindwoning, berekend met de PHPP rekenmethodiek. De totale warmtevraag voor verwarming bedraagt in deze berekening in totaal 15,0 kWh/m² [5]

Deze koude kan goed worden gebruikt voor koeling, waardoor de bodemtemperatuur stijgt. Hiermee wordt de bodembron „geregenereerd“ waardoor de COP van de warmtepomp in de winter (zie onder) gunstiger wordt. Het overschot aan zomerwarmte wordt op deze manier in de winter nuttig gebruikt, terwijl de winterkoude wordt gebruikt om's zomers te koelen.

4. WELKE INSTALLATIETECHNIEK IS GESCHIKT VOOR PASSIEF HUIZEN?

De vraag zelf is eenvoudiger dan het antwoord. De PHPP vereist overigens gecertificeerde verwarmings- en ventilatiesystemen. Het beslisdigram hieronder kan ondersteunen bij de installatiekeuze. In de nieuwbouw is de keuzevrijheid ruimer dan in de bestaande bouw.



Zes energieneutrale woningen in Engeland

De installatievarianten voor passief bouw

Functie	Aandrijfenergie/hulpenergie	Energiebron	Opweksysteem	(Overdragend) medium	Afgiftesysteem
Ventilatie	elektriciteit	binnenlucht/ buitenlucht	Gebalanceerde ventilatie met WTW (bypass)	lucht	luchtbuizen
Voorkomen Oververhitting	elektriciteit	buitenlucht (eventueel via bodembuis)	Gebalanceerde ventilatie met WTW (bypass)	lucht	luchtbuizen
	(elektriciteit)	–	Zonwering	straling	–
	elektriciteit	bodemkoude	Bodemwisselaar	water	Vloerverwarming
	elektriciteit	lucht in woning	PV gedreven airco	koudemiddel	luchtbuizen
	zonne straling	lucht in woning	Absorptie airco	koudemiddel	luchtbuizen
Verwarming	elektriciteit	aardgas	CV ketel	water	Radiatoren/ vloerverwarming
	(elektriciteit)	SV warmte	Afleverzet	water	Radiatoren/ vloerverwarming
	elektriciteit	bodem/grondwater/ lucht	Warmtepomp	water/lucht	Vloerverwarming
	elektriciteit	zonnestraling	Zonneboiler	water (voorraad vat)	Vloerverwarming
	elektriciteit	aardgas	Combi CV ketel	water	Tapwater
Warm tapwater	–	SV warmte	Afleverzet/TGA	water	Tapwater
	elektriciteit	bodem/grondwater/ lucht	Combi warmtepomp	water	Tapwater
	elektriciteit	zonnestraling	Zonneboiler	water (voorraad vat)	Tapwater
	–	Afgewerkt douchwater	Douche WTW	water	Tapwater
	–	Zonlicht	PV panelen	Elektriciteit	Elektriciteit

5. VENTILATIE

Om aan de EPC eisen van nieuwe woningen te voldoen (nu: $EPC=0,6$, in 2015: $EPC=0,4$) is een gebalanceerd ventilatiesysteem met warmteterugwinning vrijwel onontkoombaar. Gezien de eisen die aan een passiefhuis worden gesteld ligt toepassing van gebalanceerde ventilatie met WTW dus zeer voor de hand. Dit ventilatiesysteem kan zowel centraal als decentraal worden aangelegd. Naast de eisen met betrekking tot de EPC waarde dient er aan vele technische eisen voldaan te worden (NEN 1087, NEN 8087, NPR 1088). Belangrijk zijn de eisen met betrekking tot geluid. Deze eis houdt in dat het geluid dat de ventilatie veroorzaakt beneden de 30 dB(A) blijft. Dit heeft als gevolg dat geluid zoveel mogelijk voorkomen moet worden door a) het toepassen van lage luchtsnelheden en weinig stromingsweerstand door bochten etc. en b) door effectieve geluiddemping. De eerste eis heeft als extra voordeel dat het mechanisch energiegebruik van de ventilatie installatie laag zal zijn. Dit laatste is van groot belang om het EPC traject 0,6 naar 0 kosteneffectief af te leggen. Lage luchtsnelheden vereisen wel een zekere minimum kanaaldiameter, waardoor de kosten wat hoger zijn en dus de bouwkundige impact. Vooral bij renovatiebouw kan dat een probleem zijn.

Zoals reeds gesteld, is met een balansventilatie systeem gelijktijdig ventileren en verwarmen mogelijk. De lucht wordt dan verwarmd met elektrische verwarming of met warm water dat is opgewekt met een warmtepomp of HR-ketel.

De uitstekende schilisolatie en de luchtdichtheid van het passiefhuis hebben nog een bijkomend positief effect, er komt minder geluid van de straat en het verkeer naar binnen. Geluid van installaties in de woning is dan duidelijk hoorbaar en mogelijk zelfs storend. Vooral het geluid van ventilatiesystemen in woningen levert klachten van bewoners op. In beginsel is de eis voor de geluidsdruk in de woning gesteld op < 30 dB(A), terwijl gestreefd moet worden naar maximaal 25 dB(A). Dit is alleen bereikbaar bij een werkelijk integraal ontwerp van de woning (bouw- en installatietechniek) en vraagt veel kennis van de ventilatietechniek.



Ventilatie kanalen komen onder een verlaagd plafond

bron: Wortmann



Ventilatiekanalen kunnen ook onder een verhoogde vloer worden weggewerkt

bron: HBZ



bron: Buderus

principeschema warmteterugwinning uit ventilatielucht

Voorkomen oververhitting

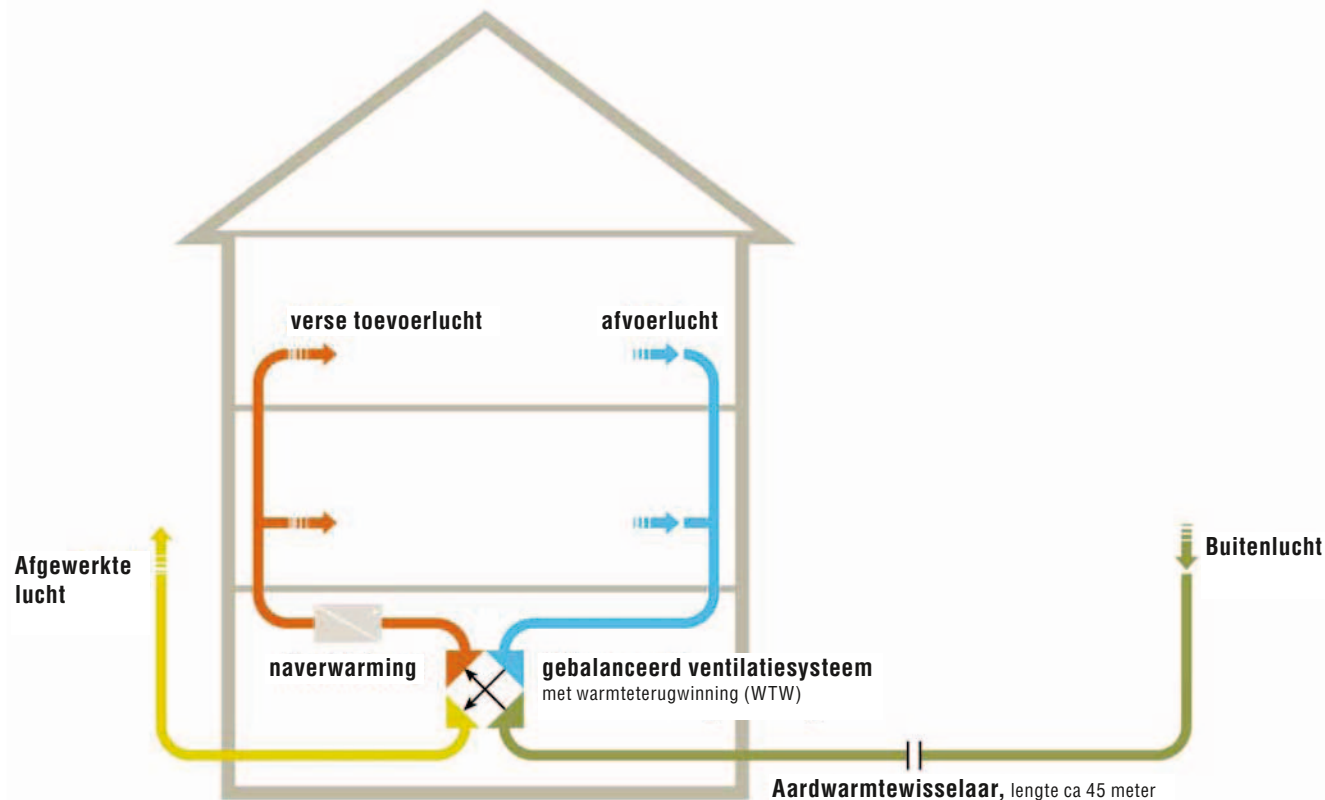
Ongecontroleerde zoninstraling en interne warmtelast kunnen de gewenste temperatuur van een passief huis ernstig doen overschrijden. Bij een warmtevraag van ca 100 W per graad Celsius – typisch voor een passief huis – betekent dit, dat een bezoek van 10 personen de temperatuur stationair met ongeveer 10 K doet stijgen. Omdat ook de ventilatie moet toenemen – het ventilatiesysteem moet hierop zijn ingericht, liefst via sturing op basis van CO_2 – is extra ventileren in de bypass stand voor de hand liggend.

Zonwering – liefst automatisch – en dak overstekken zorgen ervoor dat ongewenste zoninstraling wordt voorkomen. In de warme tijd van het jaar zorgt ventilatie in de nacht voor de afkoeling van de woning, zodat er's ochtends weer een aangename temperatuur heerst. De relatief koude buitenlucht wordt hierbij's nachts in de woning getrokken.



bron: SEV Energiesprong

Een gemonteerd ventilatiesysteem met WTW



bron: HBZ

Principe van een gebalanceerd ventilatiesysteem met voorverwarming/voorkoeling via de bodem

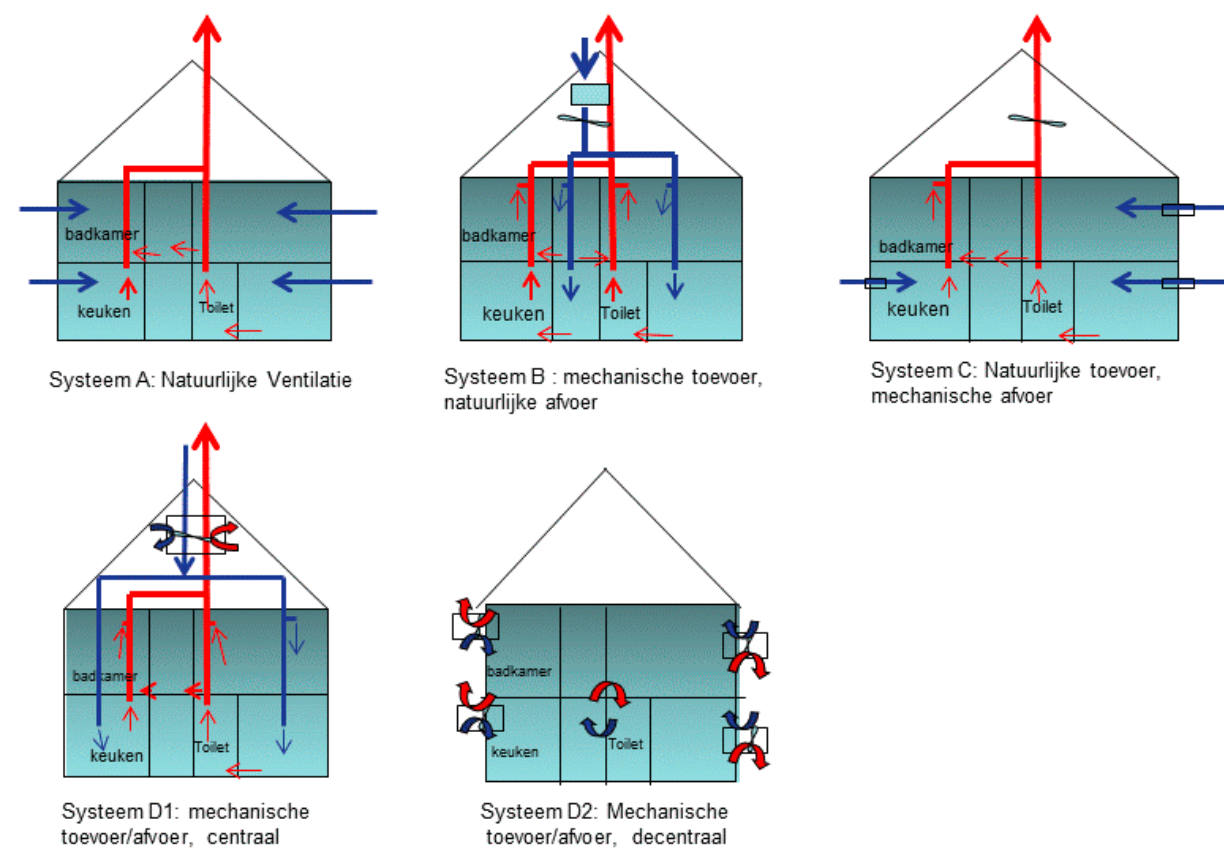
Als de buitentemperatuur niet te hoog is (felle zon in voor- en naseizoenen), dan kan met natuurlijke ventilatie (ramen open) de nodige afkoeling worden bereikt. Risico is heir wel dat er tocht optreedt en dat de afkoeling te sterk kan zijn. Als de buitentemperatuur hoog is en de zoninstraling wordt effectief geweerd, dan zorgt de WTW voor het verkoelen van de verse ventilatielucht.

Daarnaast is het van belang dat apparaten en verlichting zo zuinig mogelijk zijn. Dit geeft een dubbel besparingseffect: enerzijds wordt er minder elektriciteit verbruikt, anderzijds is de bijdrage aan de oververhitting geringer. Wanneer er een warmtepomp met bodemwisselaar is geïnstalleerd, dan kan de koude in de bodem worden gebruikt voor aanvullende koeling. Hiermee wordt ook de bodem geregenereerd, zodat de COP van de warmtepomp in de winter gunstig wordt beïnvloed.

Wanneer deze middelen niet toereikend blijken te zijn, dan kan er mechanische koeling worden toegepast, bij voorkeur geïntegreerd met het ventilatiesysteem, zo mogelijk vanuit de reeds aanwezige lucht/lucht warmtepomp. De hiervoor benodigde energie wordt bij voorkeur met PV panelen opgewekt. Voor een doorsnee passief huis volstaat 0,5 tot 1 m² PV.

Bij plaatsgebrek voor balansventilatie (vooral bij renovatiebouw) is de toepassing van een decentraal ventilatiesysteem met WTW (systeem D2), of een systeem met natuurlijke luchttoevoer en een centrale afzuiging (systeem C) met WTW via een warmtepompboiler een alternatief. Dit systeem kan goed gecombineerd worden met een zonneboiler: De warmtepompboiler zorgt voor warm water in de winter als warmteterugwinning uit ventilatielucht zinvol is, de zonneboiler zorgt voor warm water in de zomer. Beide systemen maken gebruik van hetzelfde voorraadvat.

Voor systeem D2 zijn speciale gevelconvectors beschikbaar. Deze hebben 1 of 2 kanaalaansluitingen door de gevel en werken dan als een lokaal ventilatiesysteem. Een WTW wint energie terug en de ingebouwde radiator zorgt voor verwarming. Het apparaat is aangesloten op de centrale verwarming en eventueel op de koelinstallatie.



figuur: de Wit

verschillende varianten voor ventilatie. In passiefhuizen wordt vaak systeem D toegepast, waarbij warmteterugwinning uit ventilatielucht een vereiste is

6. VERWARMING

De verwarmingsinstallatie in passiefhuizen hoeft niet groot te zijn. In onze klimaatzone is voor ruimteverwarming een vermogen van 10 W/m² vloeroppervlak genoeg. Alleen bij een snelle opwarming na een lange afwezigheid, of bij het droog stoken van stenen bouw, is meer vermogen nodig. Er is ook meer vermogen nodig wanneer de verwarmingsinstallatie voor het verwarmen van tapwater wordt ingezet (zie onder).

Vanwege de lage warmtevraag van passiefhuizen komen de vereiste debieten (hoeveelheid lucht per tijdseenheid) voor ventilatie en de debieten die nodig zijn voor luchtverwarming dicht bij elkaar in de buurt. Daardoor is het mogelijk passief woningen te verwarmen door de ventilatielucht na te verwarmen met aardgas of met een warmtepomp. Dit levert een betrekkelijk goedkoop verwarmingssysteem op.

Uiteraard is het ook mogelijk om vloerverwarming toe te passen en deze van warmte te voorzien met een warmtepomp. Wanneer deze warmtepomp wordt voorzien van een bodemwisselaar als warmtebron, dan kan hiermee met een geringe hoeveelheid pompenergie gekoeld worden.

Bewoners die een HR CV systeem gewend zijn met een vermogen van circa 20–30 kW zullen misschien enigszins moeten wennen aan de gewijzigde dynamiek van de woning met een kleine CV ketel of warmtepomp. Door dit kleine vermogen is het toepassen van nachtverlaging niet zinvol en de zeer goede isolatie. Ook leidt het traditionele „luchten“ van de woning (ramen tegen elkaar openzetten) bij zeer koud weer en het open laten staan van buiten deuren leidt tot een ongewenst trage opwarming en moet dus vermeden worden.

In principe zijn alle verwarmingssystemen mogelijk bij passiefhuizen. Bij renovatie waar reeds een aardgas aansluiting of stadsverwarmingsaansluiting is ligt een aardgasgestookt/warmtegestookt systeem voor de hand. Voor alle andere situaties is een warmtepompsysteem te overwegen.



Vloerverwarming is een goede manier van ruimteverwarming bij passiefhuizen

Meestal kan dit verwarmingssysteem ook voorzien in warm tapwater, ook als ondersteuning van de zonneboiler op zonloze dagen.

Bij passiefhuizen wordt vaak meer energie gebruikt voor het verwarmen van tapwater, dan voor het verwarmen van de woning zelf. Daarom kan het zinvoller zijn om twee aparte systemen te kiezen, die optimaal op de vraag zijn afgestemd, in plaats van één systeem dat in de praktijk is overgedimensioneerd.

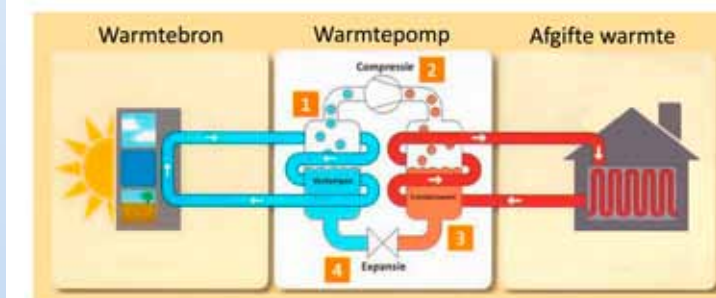
Warmte afgifte in een passief huis – nieuwbouw

De traditionele radiatorverwarming is niet nodig, want tocht door koudeval treedt niet op. In de nieuwbouw is ruimte voor (zeer) lage temperatuurverwarming, maar ook een lokaal verwarmingssysteem is mogelijk. Een voorbeeld is de houtpelletkachel. Deze genereert meer dan voldoende warmte. Via een aangepaste balansventilatie met WTW wordt de warmte door het huis verspreid.

In het algemeen wordt de warmte van vloerverwarming zeer gewaardeerd (warme voeten). In een passief huis is zeer lage temperatuurverwarming (ZLTV) mogelijk (25–30 °C) waardoor gebufferde zonnewarmte goed inzetbaar is. De eventuele warmtepomp krijgt hierdoor een hoge COP vanwege het geringe temperatuurverschil tussen bodembron en afgifte via het ZLTV systeem.

De warmtepomp

Warmtepompen onttrekken warmte aan de omgeving en brengen („pompen“) deze naar een hoger temperatuurniveau zodat die warmte kan worden gebruikt voor verwarmingsdoeleinden. De prestatie van de warmtepomp wordt uitgedrukt in Coëfficiënt Of Performance (COP). Dit is de verhouding tussen aandrijvende energie en geleverde warmte.

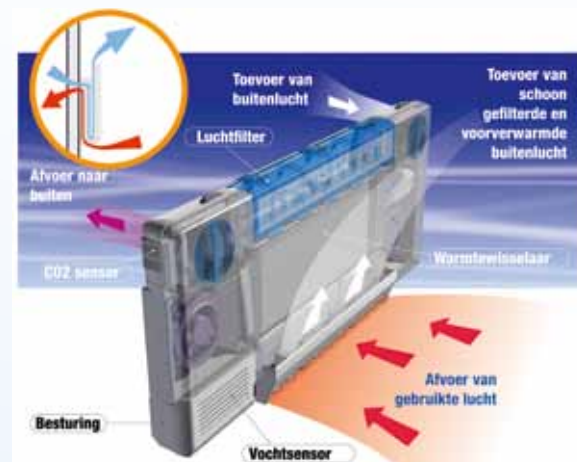


bron: Alpha Innotec

Principe schema warmtepomp

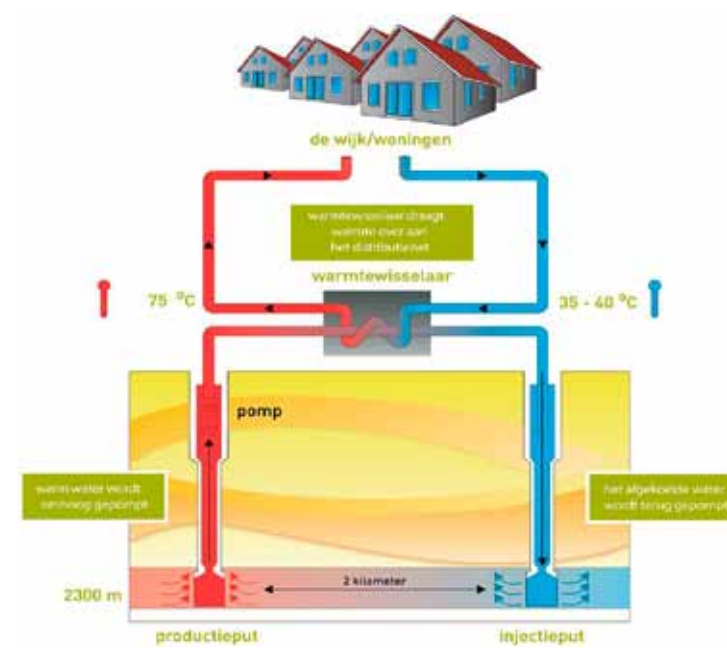
Hoe lager de aandrijvende energie ten opzichte van de geleverde energie, hoe hoger de COP. De COP is altijd groter dan 1.

De omgevingswarmte (warmte uit de lucht of bodem) is gratis, vrij beschikbaar en duurzaam, de energie om de warmtepomp aan te drijven moet worden toegevoerd. Meestal is dit elektrische energie (maar er bestaan ook aardgas gedreven warmtepompen). Als deze elektriciteit volledig duurzaam is opgewekt, bijvoorbeeld met zonne-energie (middels PV panelen) dan is de warmte uit warmtepompen volledig duurzaam. Met een moderne warmtepomp kan gemakkelijk vier maal de hoeveelheid energie die voor het „pompen“ vereist is als nuttige warmte worden overgedragen. Dit wordt uitgedrukt in de factor COP, een maat voor de prestatie van de warmtepomp. COP 4 is inmiddels goed bereikbaar en onder gunstige omstandigheden zijn factoren 5 en zelfs 6 volgens sommigen mogelijk.



decentrale ventilatie unit met warmteterugwinning

bron: Climarad



bron: [12]

Principe van diepe geothermie voor een woonwijk [12]

Rekenvoorbeeld:

Stel dat een passief huis van 120 m² gebruiksoppervlak 4 GJ/jaar aan ruimteverwarming en – na gebruik van een zonneboiler – 6 GJ aan warm tapwater nodig heeft. De energie voor ruimteverwarming blijft daarmee ruim onder de eis van 15 kWh/m² per jaar. Er wordt een combi warmtepomp met bodemwisselaar voor ruimteverwarming -en warm tapwater en een laag temperatuur verwarmingssysteem toegepast, waardoor de COP voor ruimteverwarming 5 bedraagt. Er is derhalve 0,8 GJ = 222 kWh/jaar aan elektriciteit nodig voor de ruimteverwarming. Voor het tapwaterdeel geldt een lagere COP van 3 vanwege het hogere temperatuurniveau van warm tapwater. Met de bodemwisselaar is (vrijwel) passieve koeling in de zomer mogelijk. Hier is derhalve 6/3 = 2 GJ = 556 kWh/jaar. Aan hulpenergie (pompen) is ongeveer 100 kWh/jaar nodig. Totaal is er derhalve 878 kWh/jaar nodig. Deze hoeveelheid is ongeveer met 7 m² PV panelen op te wekken. Warmtepompen zijn dus zeer geschikt voor de verwarming van passiefhuizen.

Er zijn dan geen energiekosten voor ruimteverwarming en warm tapwater. Wanneer de genoemde 10 GJ warmte met een HR ketel wordt opgewekt dan is hiervoor 320 Nm³ aardgas nodig. De totale kosten van dit aardgas (320 x 0,61 = € 198,40/jaar) en de vaste kosten van aardgas (€ 180/jaar) bedragen derhalve € 358,40 per jaar.

Bij een 20 jarig gebruik van de warmtepomp installatie en bijbehorende PV en een rentepercentage van 3 % kan € 6225 worden

besteed aan de warmtepomp en de PV panelen. Bij stijgende energieprijzen wordt dit uiteraard (veel) gunstiger. De kosten van de 7 m² PV panelen bedragen op dit moment ca € 2000. Dit betekent dat de warmtepomp + bodembron ongeveer € 4225 euro meer mag kosten als de referentie CV HR Ketel. Juist in passief huizen is dit al snel mogelijk doordat de kosten van een warmtepompsysteem vooral worden bepaald door de gevraagde capaciteit en de gevraagde capaciteit bij passief huizen juist heel laag is (maximaal ca. 3 kW). Als gebruik gemaakt wordt van een lucht/lucht warmtepomp dan is ongeveer 9 m² PV nodig. Bij toepassing van een lucht/lucht warmtepomp is de investering in PV panelen hoger, maar de investering in de warmtepomp lager, zodat deze optie per saldo goedkoper is. Deze optie biedt echter geen mogelijkheid van vrije koeling uit de bodem. Er is veel discussie over de onderhoudskosten van warmtepompen en aardgasgestookte HR ketels. Het algemene beeld is, dat de onderhoudskosten van aardgas CV hoger zijn dan van warmtepompen.

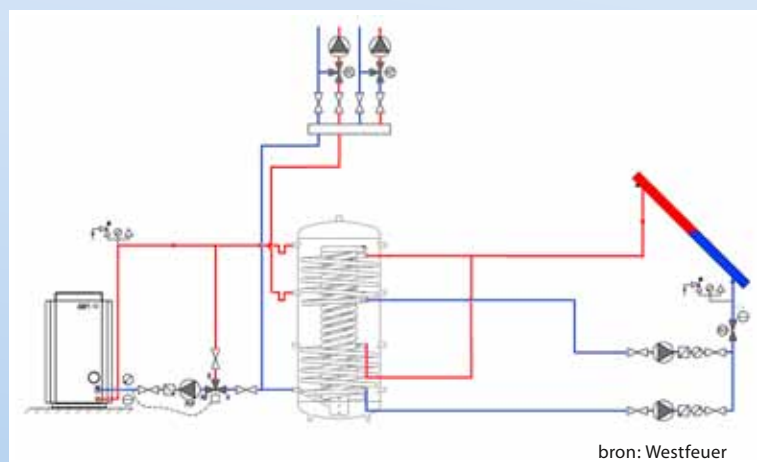
Warmte afgifte in een passief huis – renovatiebouw

In de bestaande bouw is in veel gevallen een centrale verwarming met radiatoren aanwezig. In de oude situatie is de watertemperatuur van de installatie hoog en is het ketelvermogen daarop afgestemd. Na aanbrengen van een goede schilisolatie is het vermogen van de installatie te groot, met als gevolg dat de regeltechniek moet worden aangepast. In de meeste gevallen is opnieuw inregelen noodzakelijk. De kosten hiervan zijn echter gering.

Wanneer opnieuw regelen en inregelen niet tot de gewenste resultaten gaat leiden, dan is het vervangen van de radiatoren door lage temperatuur gevelconvector in combinatie met lokale ventilatie en warmteterugwinning een goede mogelijkheid. Dit systeem reageert sneller en beter op plotselinge veranderingen van de temperatuur in de woning. Een kleine op gas gestookte HR-ketel met een groot regelbereik of een warmtepomp – mits de watertemperaturen beneden de 40 °C blijven – is dan een goede warmtebron voor de warmtevoorziening. De HR-ketel als combiketel levert ook warm tapwater zonder gebruik van een boiler. Voor een warmtepomp is een voorraadvat voor warmteopslag nodig om voldoende warm tapwater in korte tijd te kunnen leveren.



bron: Westfeuer



bron: Westfeuer

Houtpellet ketel; De houtpelletketel kan geïntegreerd worden in de centrale verwarmingssysteem en op die manier ook voorzien in warmte voor warm tapwater.

7. WARM TAPWATER

Het warm tapwaterverbruik van een gemiddeld gezin is goed bekend (ca. 8–12 GJ/jaar), maar welke gebruiker is gemiddeld? Voldoende tapcapaciteit is dus een vereiste. Een aardgasgestookte HR-ketel levert van oudsher voldoende vermogen, heeft een hoog rendement voor warm tapwater en is flexibel in het gebruik, maar draagt uiteraard niet bij aan de te bereiken EPC waarde door het fossiele energiegebruik.

De zonneboiler kan in zeer veel gevallen toegepast worden en kan onder niet te ongunstige omstandigheden in ca. 50–60 % van de warmtevraag voor warm tapwater voorzien. Het algemene beeld is, dat de zonneboiler in de zomer teveel warmte produceert en in de winter (veel) te weinig.

Dit probleem kan opgelost worden door naverwarming van het warm tapwater met de genoemde aardgasgestookte HR Combi ketel, een combi warmtepomp of een warmtepompboiler. Wanneer wordt uitgegaan wordt van een zonneboiler met naverwarming, dan is het voorraadvat een centrale installatiecomponent. De inhoud van dit vat bepaalt zowel de hoeveelheid zonne energie die kan worden opgeslagen als het tapcomfort. Het ruimtebeslag van het voorraadvat is een kritisch punt, vooral bij renovatie.

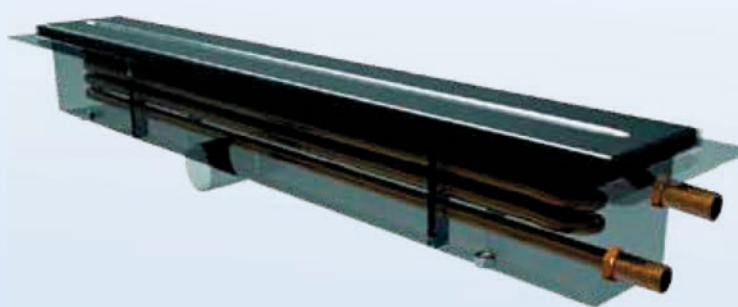
Ook moet kritisch gekeken worden naar de regeling: deze moet erop gericht zijn het aandeel van de échte duurzame bron – de zon – zo groot mogelijk te maken met de inzet van zo min mogelijk hulpenergie.

Voor alle tapwatersystemen geldt, dat de afstand tussen opwek- of voorraadtoestel en tappunten zo gering mogelijk moet zijn. Dit vermindert energieverlies, waterverlies en verhoogt het gebruikscomfort door korte wachttijden.

Besparen is mogelijk, uiteraard door minder gebruik te maken van warm tapwater. Maar ook door het terugwinnen van warmte uit douchewater. Hiervoor is de zogenaamde douche WTW ontwikkeld. Hiermee kan een vermindering van het energiegebruik voor warm tapwater worden bereikt van ca. 20–40 %. Wanneer de douche WTW toepasbaar is- bij renovatie is inpassing soms niet mogelijk – dan is het een preferent middel om het energieverbruik te verminderen omdat dit apparaat in de eerste stap van de Trias Energetica past.



Verticale Douche WTW



Horizontale douchewater WTW

bron: Bries water en energie

8. ZONNE ENERGIE

De zonneboiler

Het principe van een zonneboiler is eenvoudig: als een tuinslang de hele dag in de zon ligt, wordt het water in de slang erg warm. Zonneboilers maken gebruik van datzelfde principe. Zelfs in de winter als de zon maar een paar uur schijnt, kan zon boiler voldoende warm water produceren om te douchen, te wassen of schoon te maken. Sommige systemen leveren ook een bijdrage aan de ruimteverwarming.

Een zonneboiler bestaat uit een zonnecollector en een voorraadvat. De zonnecollector vangt zonlicht op. De moderne vlakke plaatcollector bestaat uit een absorber met een speciale coating, een zogeheten spectraalselectieve laag. Deze laag heeft een hoge absorptiefactor en tegelijkertijd een lage emissiefactor. (Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld zwarte verf.) Deze laag wordt opgedampt op een metalen plaat, zoals koper of aluminium. Aan de achterzijde van deze metalen plaat lopen dunne leidingen waardoor het collectormedium stroomt, waaraan de gewonnen warmte wordt afgegeven. De absorber wordt aan de achterkant en zijkant geïsoleerd met een dikke laag steenwol en/of polyurethaanschuim en aan de voorkant met een glasplaat van ijzerarm, gehard glas.

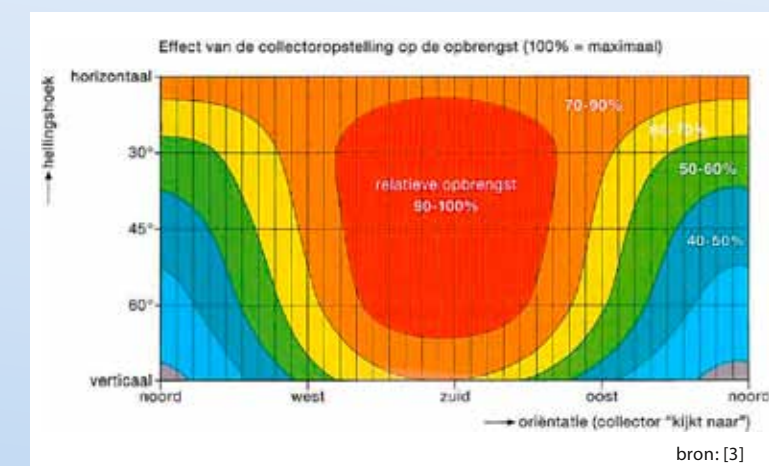
De collector wordt in Nederland vaak op het dak van een woning geplaatst. De opbrengst in Nederland is optimaal als de hellingshoek van de collector ongeveer 45 graden is en deze georiënteerd is op het zuiden. Het warme water wordt bewaard in een voorraadvat, omdat de productie van de warmte met behulp van een zonnecollector niet altijd gelijk is aan de vraag. Bij een geopende warmwaterkraan stroomt het koude leidingwater door het opgewarmde voorraadvat naar de kraan. Als het water niet warm genoeg is, dan brengt bijvoorbeeld de CV ketel of een warmtepomp het op de gewenste temperatuur. De opbrengst van zonneboilers hangt af van de kwaliteit van de collector, het plaatselijke zonregime, de opstelling en de grootte van het voorraadvat. Anders dan bij PV panelen kan een zonneboiler op bepaalde zonnige dagen per jaar zoveel zoveel warmte produceren dat het aanbod groter is dan de vraag. Op zonloze dagen is de warmtevraag uiteraard groter dan het aanbod. Per saldo kan een goede zonneboiler met een collector oppervlak van 2,5 m² ongeveer 4–5 GJ aan bruikbare warmte leveren. Bij grotere collectoren neemt de opbrengst toe, maar niet proportioneel met het oppervlak vanwege de grotere overschotten op zonnige dagen.

De opbrengst van een zonneboiler bedraagt dus ongeveer 4–5 GJ, ofwel 144 Nm³, ofwel € 0,62 x 144 = € 89,28 per jaar. Over de levensduur van 25 jaar en een rentepercentage van 3 % kan hiervoor € 1580 extra worden geïnvesteerd. Uiteraard wordt dit gunstiger bij stijgende energieprijzen. Uiteraard draagt een zonneboiler bij aan de duurzaamheid van passief huizen. De zonneboiler is een voorgeschreven installatiecomponent van het passief huis.



Een zonneboiler systeem

bron: HR Solar



bron: [3]

Invloed van de orientatie van een zonnecollector op de opbrengst [3]



bron: HR Solar

In het dak geïntegreerde zonnecollectoren



bron: HBZ

Vlakke collectoren op een plat dak gemonteerd



bron: HBZ

Horizontaal gemonteerde vacuüm collectoren. Vacuüm collectoren kunnen hoge watertemperaturen genereren.

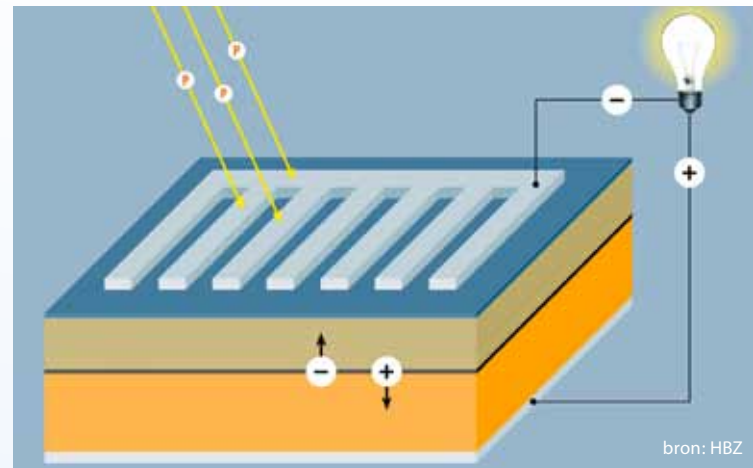
Elektriciteit uit zonlicht: PV panelen

Foto Voltaïsche (Photo Voltaic, PV) zonnecellen zetten licht rechtstreeks om in elektriciteit. Door schakeling van zonnecellen in modules kan deze elektriciteit nuttig gebruikt worden, ofwel onafhankelijk van het openbare elektriciteitsnet (autonome systemen) ofwel door stroom te leveren aan het openbare net (netgekoppelde systemen).

De opbrengst van PV panelen is afhankelijk van het zonregime ter plekke, de opstelling en het type PV paneel. Het maximale vermogen dat een zonnepaneel bij standaardcondities kan leveren (instraling: 1000 W/m², temperatuur: 25 °) wordt het zogenaamde Wattpiek (Wp) vermogen genoemd.

bron: HBZ

Een optimaal opgesteld PV paneel (op het zuiden, 30° hoek met het horizontale vlak) polykristallijn PV paneel heeft een piekvermogen van ca 135–150 Wp per m² paneeloppervlak. Hiermee wordt in Nederland ongeveer 115 tot 130 kWh/m² opgewekt. De opgewekte elektriciteit mag tot 5000 kWh/jaar (bij sommige leveranciers: onbeperkt) gesaldeerd worden met elektriciteitsinkoop. Dit betekent dat een kWh die geproduceerd wordt met het PV paneel de volle inkoopprijs (in 2012 ca € 0,21 per kWh) opbrengt, ofwel tussen € 24,15 en € 27,30 per m² PV paneel jaar. De levensduur bedraagt gemiddeld 25 jaar. Bij een rentepercentage van 3 % zijn de panelen in 14–16 jaar terugverdiend, ruim voor het einde van de levensduur. Bij stijging van de energieprijzen is deze periode uiteraard (veel) korter. Bovendien dalen de prijzen van PV panelen nog steeds. Daarmee zijn PV panelen interessant voor passiefhuizen. PV panelen hebben geen impact op de installatietechniek in de woning en bevatten geen bewegende delen, zodat de implementatie eenvoudig is. Het is echter wel zaak het dakoppervlak op het zuiden zo groot mogelijk te kiezen. Er moet bij de constructie van het dak rekening worden gehouden met de mogelijke plaatsing van PV panelen.



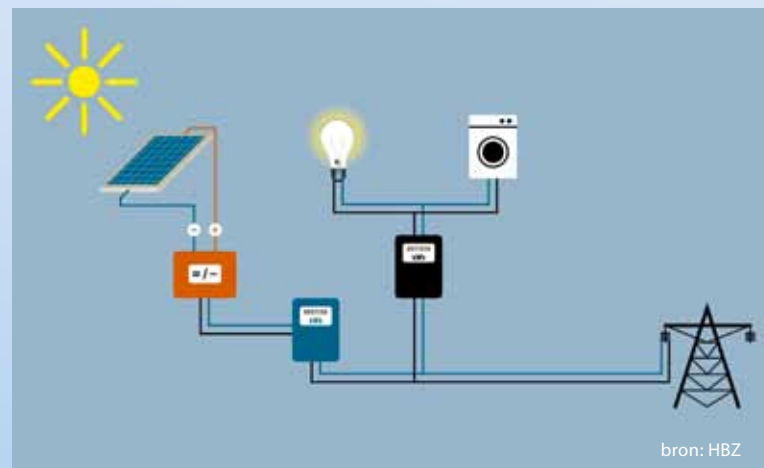
bron: HBZ

Werkingsprincipe van een PV element



bron: HBZ

Een 3 kWp PV installatie. De installatie wordt gekoeld met vrije convectorie (lucht) aan de achterzijde



bron: HBZ

Netkoppeling van PV panelen



bron: HBZ

PV panelen kunnen ook in de gevel worden geïntegreerd.

Het ontwerp en de aanleg van installaties in passiefhuizen

Bij het ontwerp van de installaties moeten nauwkeurige berekeningen ervoor zorgen dat het uiteindelijke systeem functioneel is, energiezuinig is en niet te kostbaar in aanschaf en gebruik. Zo zorgt overcapaciteit van een systeem voor nutteloos hogere investeringen en zorgt ervoor dat de installatie niet het maximale rendement kan halen, en dus te veel energie gebruikt.

Energie-efficiency is slechts één aspect waarmee ontwerpers rekening houden en dit aspect verdwijnt in de praktijk nog al eens naar de achtergrond. Veel adviseurs en ingenieursbureaus zijn gericht op de realisatie van een goed werkende technische installatie en minder op energie-efficiency. Daarom is het – zeker bij grotere projecten – raadzaam om een ingenieursbureau dat gespecialiseerd is in duurzame en energiezuinige technieken in het bouwteam op te nemen.

Bij de aanleg van en uitvoering aan de installaties zijn controles en metingen nodig. Er wordt in de bestekteksten opgenomen dat de volgende testen uitgevoerd moeten worden:

- Controle van de schilisolatie, zowel de open als gesloten gedeeltes, vloer en dak
- controle van plaatsing van isolatie rond verwarmings- en ventilatiebuizen
- luchtdichte afwerking van aansluitingen en kieren (Blower-Door-Test)
- specifieke uitvoeringsaspecten voor passieve technieken zoals de regeling van de zonwering,
- correcte inregeling van de ventilatie-installatie (mn in- en uitstroomopeningen)
- correcte regeling van de verwarmingsinstallatie
- metingen van de lichtintensiteit

Dit controleschema geeft aan hoe de verschillende componenten van de bouw van passiefhuizen op elkaar inwerken: Een niet goed geïsoleerde schil zal doorwerken in een hoger warmtevraag dan berekend. Een op zich goed ontworpen en ingeregelde installatie zal nu niet aan de warmtevraag kunnen voldoen.

Een te krap uitgelegde ventilatie installatie leidt ofwel tot meer geluid dan toegestaan – als de debieten gehaald worden, ofwel tot een te laag ventilatiedebiet, met gevolg een ongezond binnenklimaat en te weinig koelcapaciteit in de zomer door nachtventilatie. Bovendien kan een te lage verwarmingscapaciteit resulteren als ventilatie en verwarming gecombineerd zijn. Het ontbreken van zonwering zal tot onacceptabele temperatuuroverschrijdingen leiden als in het ontwerp geen (mechanische) koeling is opgenomen.

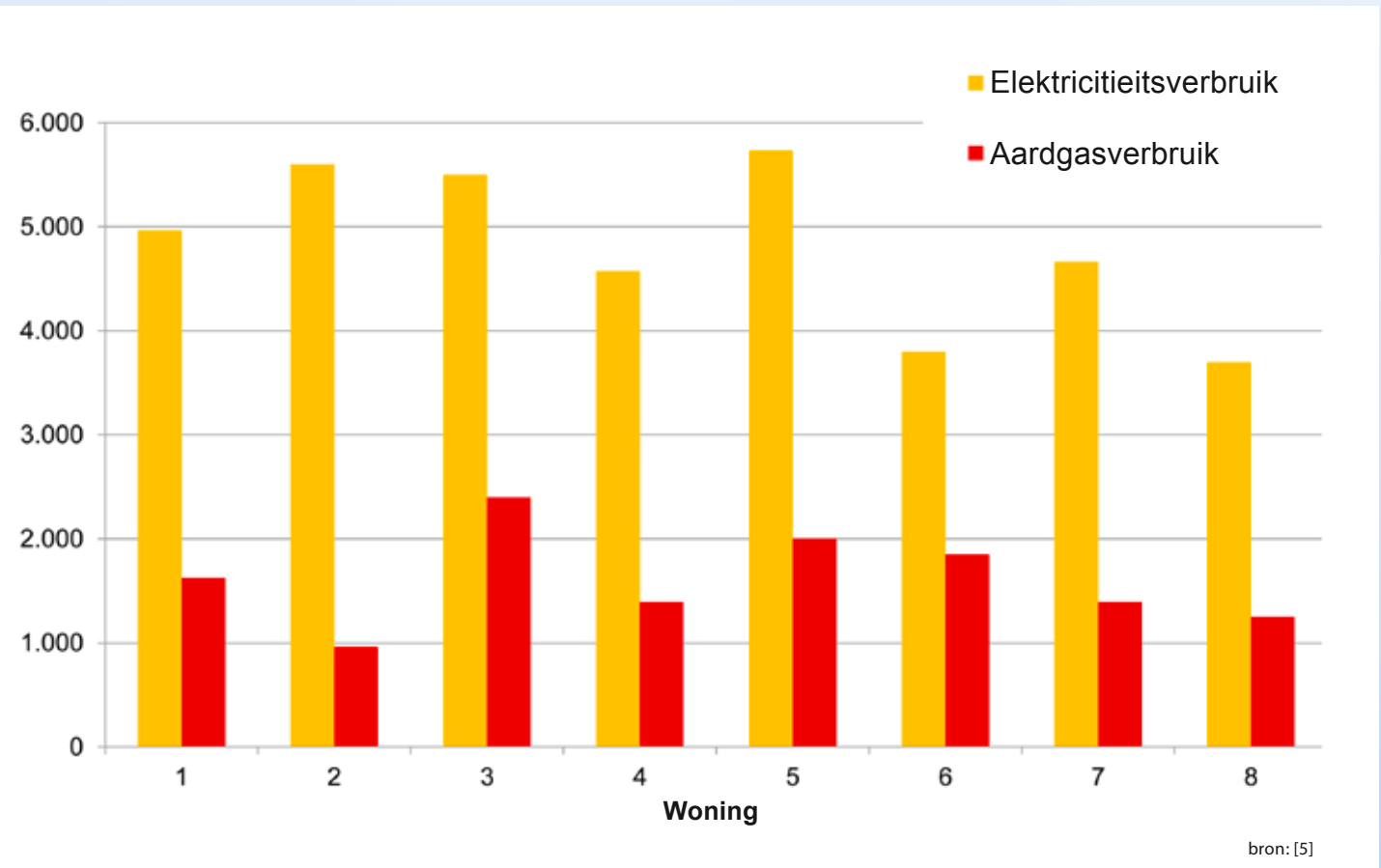
Duidelijk moet zijn wanneer de test moet plaatsvinden: tijdens de installatie, vlak na installatie of bij de voorlopige of definitieve oplevering. Er moet ook duidelijkheid zijn over de te verwachte resultaten en eventuele sancties bij slechte uitvoering.

9. WAAROM MOETEN BEWONERS HUN GEDRAG IN PASSIEFWONINGEN AANPASSEN?

Grote verschillen in gebruik
Bewoners van passiehuizen, met name in bestaande woningen die tot passiehuisniveau gerenoveerd worden, moeten vaak wennen aan een ander gedrag dat nodig is voor een optimale invulling van het verwarmings-, koelings- en ventilatiesysteem. Onderzoek naar de jaarlijkse energiegebruiken van dezelfde type woningen, maar met verschillende bewoners, toont aan dat er veel verschil in de jaarlijkse energiegebruiken van de bewoners van identieke woningen zit. De invloed van de bewoner op het energiegebruik blijkt enorm. Deze invloed wordt bij zeer zuinige woningen zoals passief woningen nog groter omdat het gebruiksgebonden energieverbruik (apparaten) veel groter is dan het gebouwgebonden energieverbruik. In oudere huizen, bijvoorbeeld ongeïsoleerde huizen van voor 1970 werd het grootste deel van het energieverbruik veroorzaakt door de CV installatie die de woning gedurende de winter op temperatuur moest houden. In een passief huis is dit warmteverbruik slechts 15 kWh/jaar, terwijl het totale primaire energieverbruik 120 kWh/m² mag zijn.

Dit laatste getal geeft overigens aan dat in een passief huis het gebruiksgebonden energieverbruik het totale energieverbruik domineert.

De dynamiek van de verwarmingsinstallatie
Wanneer in een woning gebruik wordt gemaakt van vloerverwarming moet rekening worden gehouden met de traagheid van het systeem. Dat betekent dat meerdere uren opwarmtijd nodig zijn om de ruimtetemperatuur op gewenst niveau te krijgen. Door de goede isolatie in passiehuizen gaat de warmte niet snel verloren. Daarom moet in passiehuizen de temperatuur zoveel mogelijk constant worden gehouden; dit kost minder energie. Bewoners van passiehuizen moeten wennen aan het idee om de verwarming 's avonds en 's nachts niet lager te zetten als bewoners de ochtendtemperatuur op gelijk niveau willen hebben als de avondtemperatuur. Als de bewoners s'avonds een temperatuur van bijvoorbeeld 21 °C willen hebben en 's ochtends een temperatuur van ca 19 °C gewenst vinden, dan kan de verwarmingsinstallatie wel worden afgeschakeld. Een slimme regeling, gekoppeld aan de zon- en weersverwachting, kan in de loop van de dag voorspellen op welk moment de verwarming aan moet om bijvoorbeeld om 18.00 uur weer een temperatuur van 21 ° te bereiken.



Het energieverbruik van identieke woningen kan enorm verschillen [5]

Deze laatste regelstrategie is wat meer geschikt voor mensen die overdag niet aanwezig zijn, en is uiteraard zuiniger dan de eerste regelstrategie. Een geïntegreerd ventilatie/verwarmingssysteem vereist geen regelstrategie vanwege de snelle respons van luchtverwarmingssystemen.

Het ventilatiesysteem
Ook voor het ventilatiesysteem is een ander gedrag gewenst. Oudere woningen in Nederland kunnen goed geventileerd worden door ramen (deels) open te zetten („luchten“). In een passiehuis zijn ventilatieverliezen door geopende ramen vele malen hoger dan de transmissieverliezen. Veel „luchten“ zal het energieverbruik ontoelaatbaar doen toenemen. De bedoeling is dan ook, om ventilatie vooral te bereiken met gesloten ramen en deuren. Bovendien is dit sluiten van ramen en deuren veel effectiever dan bij traditionele woningen door de zeer goede luchtdichtheid van passief woningen.

Daarom is het ook van belang dat het ventilatiesysteem in passief huizen goed extra belastingen aankan, bijvoorbeeld door bezoek (feestje) , door CO₂ sturing. Uiteraard zijn er grenzen aan de ventilatiecapaciteit. Het systeem kan aangeven dat de vereiste luchtkwaliteit niet behaald kan worden bij maximaal debiet en kan adviseren om ramen te openen. De bewoners moeten er dus aan wennen dat de ventilatiesysteem het werk doet, in principe altijd, en dat het gesloten houden van ramen en deuren zeker bij koud weer essentieel is om het energieverbruik laag te houden.

Ventilatiesystemen vervuilen, wat de werking en de gezondheid van het binnenmilieu verminderen. Onderhoud en reiniging zijn dus essentieel, met name het vervangen van filters. Ook moet goed opgelet worden of de WTW voldoende snel overgaat op bypass om oververhitting te voorkomen.

Voorkomen oververhitting
Het in de hand houden van de interne warmtelast door het zuinig gebruik van zuinige apparaten is belangrijk. Zo heeft de aanschaf van een A++ koelkast niet alleen zin om de energierekening laag te houden, maar ook om het binnenklimaat in de zomer te beschermen. Hetzelfde geldt voor energiezuinige verlichting. Dit geldt uiteraard ook voor de inzet van de zonwering, die liefst automatisch moet zijn. Tot slot kan de bewoner leren optimaal gebruik te maken van nachtventilatie.

Verlichting
De verlichting van een passiehuis heeft een relatief grote invloed op het energiegebruik. Door te kiezen voor energiezuinige verlichtingssystemen kan veel energie bespaard worden. Armaturen die het opgewekte licht doelgericht verspreiden (bv met reflectoren) zorgen ervoor dat minder sterke lampen toch voor voldoende licht zorgen. Automatische sturingen zoals aanwezigheidsdetectie en daglichtdimmers zorgen ervoor dat de lampen niet meer of langer branden dan nodig. Efficiënte lampen zorgen niet alleen voor meer licht met zelfde energie-input, maar verminderen ook de warmteafgifte. Dat vermindert dan weer de vraag naar koeling en verhoogt dus ook het comfortniveau. Daarom moeten bewoners vooral in de zomer voorkomen dat verlichting onnodig aan staat.



bron: Phillips

LED verlichting is energiezuinig en wordt steeds goedkoper

10. INSTALLATIE KEUZE

Uitgangspunten voor Installatiekeuze en Systeemvarianten

In passief huizen zijn zeer veel installatievarianten mogelijk. In feite is alleen de gebalanceerde ventilatie en de zonneboiler voorgeschreven. Het doel van de installaties is, om binnen de gestelde eisen met betrekking tot de bouwkundige eigenschappen binnen de voorgeschreven 15 kWh/m²/jaar voor ruimteverwarming en binnen de 120 kWh/m²/jaar primair totaal te blijven.

Merk op dat dit laatste getal niet alleen wordt bepaald door de (vaste) klimaatinstallaties, maar ook door de door de bewoner zelf aangeschafte apparatuur en het gedrag van de bewoner

De voorkeursvarianten voor installaties voor passief

Functie	Aandrijfenergie/hulpenergie	Energiebron	Opweksysteem	(Overdragend) medium	Afgiftesysteem
Ventilatie	elektriciteit	binnenlucht/buitenlucht	Gebalanceerde ventilatie met WTW (bypass)	lucht	luchtbuizen
Voorkomen Oververhitting	elektriciteit	buitenlucht (eventueel via bodembuis)	Gebalanceerde ventilatie met WTW (bypass)	lucht	luchtbuizen
	(elektriciteit)	–	Zonwering	straling	–
	elektriciteit	bodemkoude	Bodemwisselaar	water	Vloerverwarming
	elektriciteit	lucht in woning	PV gedreven airco	koudemiddel	luchtbuizen
	zonne straling	lucht in woning	Absorptie airco	koudemiddel	luchtbuizen
Verwarming	elektriciteit	aardgas	CV ketel	water	Radiatoren/vloerverwarming
	(elektriciteit)	SV warmte	Afleverzet	water	Radiatoren/vloerverwarming
	elektriciteit	bodem/grondwater/lucht	Warmtepomp	water/lucht	Vloerverwarming
	elektriciteit	zonnestraling	Zonneboiler	water (voorraad vat)	Vloerverwarming
Warm tapwater	elektriciteit	aardgas	Combi CV ketel	water	Tapwater
	–	SV warmte	Afleverzet/TGA	water	Tapwater
	elektriciteit	bodem/grondwater/lucht	Combi warmtepomp	water	Tapwater
	elektriciteit	zonnestraling	Zonneboiler	water (voorraad vat)	Tapwater
	–	Afgewerkt douchwater	Douche WTW	water	Tapwater
Elektriciteit	–	Zonlicht	PV panelen	Elektriciteit	Elektriciteit

Groen heeft preferentie of is zelfs voorgeschreven. Geel heeft een iets minder sterke voorkeur. Stadsverwarming (SV) kan interessant zijn als er reeds een SV aansluiting is, mits de SV warmtevolledig duurzaam is.

De onderstaande tabel geeft een aantal mogelijke installaties weer. Merk op dat voor vrijwel elke installatiecomponent elektriciteit nodig is. Gecombineerd met het feit dat passief huizen weinig thermisch energieverbruik vertonen, ligt een „alle electric“ energie invulling voor de hand. Als het passief huis niet te ongunstig ligt, dan is het mogelijk om alle elektrische energie via het dak met PV panelen op te wekken. Op dit moment wordt nog vaak van aardgas gebruik gemaakt om de investeringskosten van passief huizen laag te houden. Het is echter aantoonbaar dat deze variant niet de laagste exploitatiekosten leidt over een periode van 30 jaar tot.

11. WAT IS DE HUIDIGE PRAKTIJK IN NEDERLAND (2012) BIJ INSTALLATIES VOOR PASSIEFHUIZEN?

- Bij de beoordeling van de installaties gaat het om drie zaken:
- Wordt het gewenste comfort geleverd?
 - Wat zijn de maandelijkse kosten en energie en van afschrijving en onderhoud van installaties?
 - Wat is de energieprestatie van het passief huis als geheel?

Een installatie ontwikkelaar kiest in Nederland nog vaak voor een aardgasgestookte verwarming, zie tabel 4, zo nodig met aanvullende PV. Het blijkt dat deze combinatie bij gelijke EPC waarde over het algemeen (nog) goedkoper is dan een installatie met een warmtepomp met bodemwisselaar. Voor passief huizen is het waarschijnlijk sneller om een lucht/lucht warmtepomp te gebruiken dan een warmtepomp met bodemwisselaar. Dit in verband met de lage warmtevraag en de relatief hoge aanschafprijs van een warmtepomp met bodemwisselaar. De wens van veel gemeenten om aardgasloze wijken aan te leggen en de sterk verbeterde condities waaronder warmtepompen in passief huizen kunnen functioneren zou dat beeld van overwegende toepassing van aardgas op korte termijn kunnen veranderen. Bij passief renovatiebouw met een aardgas- of stadsverwarming aansluiting zal het waarschijnlijk aantrekkelijk blijven om aardgas als warmtebron te gebruiken. Voor plaatsen op het platteland is de toepassing van houtpelletketels interessant door de beschikbaarheid van „eigen“ haardhout en het ontbreken van rookoverlast door de geringe bouwdichtheid.

Voorbeelden van Nederlandse passief huis projecten

Onderstaande tabel geeft een aantal recente passief huis Nederlandse projecten weer, zowel nieuwbouw als renovatiebouw. Het valt op dat vrijwel altijd werd gekozen voor luchtverwarming met aardgas als energiebron. Dit is uit oogpunt van investeringskosten, maandelijkse energiekosten voor de bewoner zeer goed verklaarbaar. Echter, volledige energieneutraliteit is op termijn minder makkelijk bereikbaar dan „all electric“ als de duurzaamheid van de publieke elektriciteitsopwekking toeneemt.

Wat opvalt aan deze tabel is, dat er nog veel keuzevrijheid bestaat: alleen de gebalanceerde ventilatie met WTW en een zonneboiler zijn voorgeschreven. De installatiemogelijkheden worden echter niet alleen bepaald door het woning ontwerp en de gestelde eisen, maar ook door de aanwezige infrastructuur en de voorkeuren van de bewoners. Zo zijn aardgastoestellen alleen mogelijk als er een aardgas aansluiting is. Hetzelfde geldt voor stadsverwarming. Sommige mensen prefereren aardgas als warmtebron voor koken.

Duurzame energie

Door het plaatsen van een zonneboiler en het optimale gebruik van passieve zonne energie wordt in passief huizen reeds gebruik gemaakt van duurzame energie. Door het vervolgens plaatsen van PV panelen is met vrijwel iedere combinatie een EPC waarde lager dan 0,4 te realiseren. In veel gevallen is het mogelijk de EPC tot EPC=0 terug te brengen met PV, mits het dakoppervlak dat toelaat. Bij voldoende dakoppervlak en zuinig gebruik is energieneutraliteit. Hierbij wordt ook het gebruiksbonden energieverbruik gedekt door PV panelen.

In dit geval is de derde stap van de Trias Energetica dus niet meer nodig en functioneert het elektriciteitsnet dus uitsluitend om tekorten aan te vullen (in de winter) en overschotten af te voeren (in de zomer).



Velve Lindehof, nieuwbouw



De Kroeven, renovatie

overzicht volgens de EPC mogelijke systemen van installaties voor passiefhuizen

Project (nieuwbouw)	Soort	Gebruik-soppervlak [m²] rij/eindwoning	Isolatie gesloten delen Gevel/Dak/Vloer	Isolatie vensters	Installatie ventilatie	Installatie ruimteverwarming	Installatie tapwater	Warmtebruik rij/hoek (kWh/m²/jaar volgens PHPP)	EPC waarde
Passiefhof te Deest	GG Eengezinswoning 2 lagen	83/83	Rc=8/10/8	Passief kozijn HR +++ U = 0,65	Gebalanceerde ventilatie met WTW	HR Gasgestookte luchtverwarming	Zonneboiler + HR ketel	10/15	0,5
Kroeven Rosendaal	GG Eengezinswoning 2 lagen + zolder	133/133	Rc=9,5/10/10	Passief kozijn HR +++ U = 0,65	Gebalanceerde ventilatie met WTW	HR Gasgestookte luchtverwarming	Zonneboiler + HR ketel	11/15	0,55
Columbuskwartier Almere	GG Eengezinswoning 2 lagen + zolder	92/138	Rc=6-7,5/8,5/6,5	Passief kozijn HR +++ U = 0,65	Gebalanceerde ventilatie met WTW	HR Gasgestookte luchtverwarming	Zonneboiler + HR ketel	21/30	0,31
Het Nieuwe Gijmink Goor	GG Eengezinswoning 2 lagen + zolder	123/129	Rc=8/10/8	Passief kozijn HR +++ U = 0,65	Gebalanceerde ventilatie met WTW	HR Gasgestookte luchtverwarming	Zonneboiler + HR ketel	10/15	0,29/0,35
Groen Velve Lindenhof te Enschede	GG Eengezinswoning 2 lagen + zolder	122/122	Rc=10/10/10	Passief kozijn HR +++ U = 0,65	Gebalanceerde ventilatie met WTW	HR Gasgestookte vloerverwarming BG + LT radiatoren verdieping	Zonneboiler + HR ketel	10/15	0,29/0,35
Projekt (Sanierung)									
Kroeven Roosendaal	GG Eengezinswoning 2 lagen + zolder	96,5	Rc=8,5/9/5	Passief kozijn HR +++ U = 0,65	Gebalanceerde ventilatie met WTW	HR gasgestookt met WTW	Zonneboiler + HR ketel	25	NB
Sleephelling Rotterdam	Appartementen	162,4/103,9	Rc=7/5,2/9	Passief kozijn HR +++ U = 0,6 + HR ++ U=1,2	Gebalanceerde ventilatie met WTW	HR Gasgestookte luchtverwarming	Zonneboiler + HR ketel	21/27	NB



De Kroeven, nieuwbouw



Sleephelling, renovatie

Subsidieregelingen

Voor energiebesparende maatregelen in woningen is er een beperkt aantal subsidiemogelijkheden. Deze zijn te vinden op www.agentschapnl.nl. Daar deze subsidies geen blijvend karakter hebben, is het van belang de mogelijkheden daarvan goed te verkennen. Ook sommige provincies en gemeenten verstrekken aparte subsidies.

Vanaf juli 2011 is de SDE+ subsidieregeling (Besluit Stimulering Duurzame Energieproductie) van kracht. Deze regeling is eigenlijk interessanter voor bedrijven dan voor particulieren. Om in aanmerking te komen voor deze subsidie moeten grote hoeveelheden hernieuwbare energie worden geproduceerd (voor zonne-energie bijvoorbeeld meer dan 15 kWp, ofwel circa 80 zonnepanelen [10]). De SDE+ subsidieregeling vergoedt het verschil tussen de kostprijs van grijze energie en hernieuwbare energie. De compensatie wordt verstrekt aan de producent van deze energie in de vorm van een opslag op de aan de openbare net geleverde hernieuwbare energie (elektriciteit of gas).

12. BRONNEN

[1] http://www.passivhaustagung.de/Passive_House_E/PHPP.html

[2] European Embedding of Passive Houses, M. Elswijk, H. Kaan, mei 2008. www.europeanpassivehouses.org

[3] Energievisie Geerpark, Heusden, eindrapport, H. Manders; I. Wijgerse; P. Klep, BuildDesk Benelux B.V., Delft, 7-04-2009. 03HM80283000, http://ro-online.robeheer.nl/0797/03B5206F-0162-4884-A306-AC0E5D82A1C3/tb_NL.IMRO.0797.BPgeerpark-VO01_20.pdf

[4] Waardering van passiefhuizen volgens EPN en PHPP, B.J. de Boer; C. Boonstra; D. Jansen, 3-11-2010, <http://www.ecn.nl/publicaties/ECN-M--10-075>

[5] Onderzoek Bas van der Veen, lector Pioneering, M.H. Tromplaan 28 Enschede

[6] PeGO Conceptlijn Passiefhuis, Creatieve Energie – Energietransitie, In opdracht van Platform energietransitie Gebouwde Omgeving, Innovatiewerkgroep, 2007, <http://www.naarenergieneutraal.nl/docs/PeGO%20Conceptlijn%20Passiefhuis.pdf>

[7] Passiefhuizen in Nederland, AEneas, Bostel 2006.

[8] www.passiefbouwen.nl

[9] Quicksan zeer energiezuinige woningen in Nederland, R. de Smidt, Platform Energietransitie in de Gebouwde Omgeving, juni 2008.

[10] <http://www.zelfenergieproduceren.nl/subsidies/sde-plus-regeling.html>

[12] <http://www.meermetminder.nl/Content/Images/Blocks/block-huis-lightbox.jpg>

[13] http://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/jpga/aardwarmte_4_geothermie_www_aardwarmtedenhaag_nl.jpg

DEZE BROCHURE BEHOORT TOT EEN REEKS VAN 5 BROCHURES.

De andere brochures gaan over volgende thema's



De brochures staan op de internetpagina van het project.
Gedrukte exemplaren zijn bij de projectpartners verkrijgbaar.

PROJECT „TOEKOMST PASSIEFHUIS“:

WWW.PASSIVHAUS-EUREGIO.EU

CONTACT:

HANDWERKSKAMMER MÜNSTER (LEAD PARTNER)
KOMPETENZZENTRUM BAU UND ENERGIE

www.demozentrum-bau.de

Gesamtprojektleitung: Sabine Heine

sabine.heine@hwk-muenster.de

FACHHOCHSCHULE MÜNSTER

msa/münster school of architecture

www.fh-muenster.de/fb5, Professor Reichardt

SAXION, ENSCHEDE

www.saxion.nl/leefomgeving

Mede mogelijk gemaakt door:

Ministerium für Wirtschaft, Energie,
Industrie, Mittelstand und Handwerk
des Landes Nordrhein-Westfalen



**DEZE BROCHURE IS EEN PRODUCT VAN HET
COÖPERATIEVE PROJECT „TOEKOMST PASSIEFHUIS“**



**HANDWERKSKAMMER MÜNSTER
KOMPETENZZENTRUM BAU UND ENERGIE**



**SAXION, ENSCHEDE
KENNISCENTRUM LEEFOMGEVING**



**FACHHOCHSCHULE MÜNSTER
msa/münster school of architecture**

