

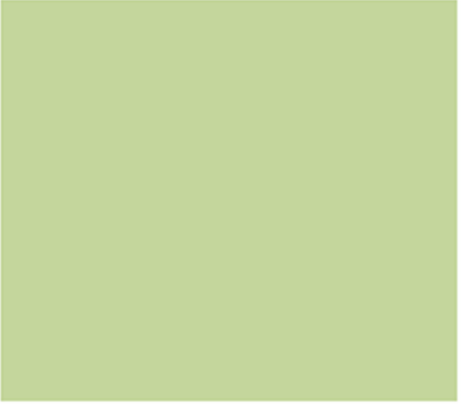


**“Energie neutraal bouwen in de praktijk”**



**Auteurs:**  
J.S. Boersma  
W. Huisjes

**Datum:**  
14 maart 2012







## Onderzoeksrapport

### “Energie neutraal bouwen in de praktijk”

“Wat bepaalt of een woning ‘energie neutraal’ is? Welke ontwerpstrategieën en bepalingsmethode kunnen en zijn gebruikt bij de gerealiseerde energie neutrale woningen? Komen de werkelijke gemeten energiegebruiken van een woning overeen met de bepalingsmethode?”

#### ***Auteurs***

J.S. Boersma (Jeroen)  
Wolweverstraat 4b  
8011 NW Zwolle  
Tel: 06 15263362

W. Huisjes (Wouter)  
E.H. Meyerinkstraat 5  
7695 SP Bruchterveld  
Tel: 06 15280429

#### ***Onderwijsinstelling***

Christelijke Hogeschool Windesheim  
School Built Environment & Transport  
Campus 2 – 6  
Postbus 10090  
8000 GB Zwolle  
Tel: 038 4699857

#### ***Schoolbegeleiders***

Drs. Ing. H.M. Nieman (Harry)  
Ir. B.J.M. Slot (Bert)

#### ***Afstudeerbedrijf***

Nieman Raadgevende Ingenieurs  
Dr. Van Lookeren Campagneweg 16  
8025 BX Zwolle  
Postbus 40147  
8004 DC Zwolle  
Tel: 038 4670030  
Fax: 038 4670040

#### ***Bedrijfsbegeleiders***

Ing. J.J.P. van Dalen (Jan Pieter)  
Ing. A.F. Kruithof (André)

#### ***Datum***

2012



## Voorwoord

Het rapport “Energie neutraal bouwen in de praktijk” beschrijft het onderzoek van het afstudeerproject dat is uitgevoerd tijdens het vierde jaar van de opleiding bouwkunde aan de Christelijke Hogeschool Windesheim te Zwolle. Het afstudeerproject is het praktische gedeelte van het laatste halfjaar van de opleiding. Het rapport is geschreven door Jeroen Boersma en Wouter Huisjes met de afstudeerrichting energie en duurzaamheid. Het onderzoek is uitgevoerd in samenwerking met Nieman Raadgevende Ingenieurs te Zwolle.

Het afstudeeronderzoek is uitgevoerd in de periode september 2011 tot en met maart 2012. Van september tot en met oktober heeft een uitgebreide studie plaatsgevonden naar de invullingen van de definitie ‘energie neutraal’, energie ontwerpstrategieën, energie bepalingsmethodes en de invloeden op het energiegebruik. Vanaf november is contact gezocht met de eigenaren van energiezuinige / energie neutrale woningen om de berekening en het werkelijke energiegebruik voor het onderzoek “Energie neutraal bouwen in de praktijk” te mogen gebruiken. Bij een aantal woningen is het energiegebruik gemonitord van verschillende en huishoudelijke apparaten over een periode van 2 á 3 weken. Van de woningen is een vergelijking gemaakt tussen het berekende en het werkelijke energiegebruik. Bij de vergelijking is onderzocht of de ambitie van de woning in de werkelijkheid voldoen. Welke woningen zijn ‘energie neutraal’ of vormen een goede basis om in de toekomst ‘energie neutraal’ gemaakt te kunnen worden?

Langs deze weg willen wij alle mensen bedanken die een inbreng hebben gehad in het onderzoek “Energie neutraal bouwen in de praktijk”. In het bijzonder zijn wij veel dank verschuldigd aan eigenaren / bewoners van de woningen, die dit onderzoek mede mogelijk hebben gemaakt. Jos Rademakers (Ons passiefhuis, Oijen), Pieter Weijnen en Renske Feikema (Steigereiland 2.0, Amsterdam), Gerben Bos (Passiefhuis, Utrecht), Herman Eijpe (Energiebalanswoning, Amersfoort), Ronald Serné (Nulwoning, Groenlo), Martin Oomen, Woonstad Rotterdam (Sleephellingstraat, Rotterdam), Jos Ensink (Koopmans B.V. Klimaatneutrale woning, Almere), Francios Höppener (Passiefhuis, Selfkant Duitsland), Fred Kessels (Passiefhuisnu, Swalmen), Lieven Hollevoet en Katleen Quintyn (Energiezuinige woning, België)

Speciaal gaat onze dank uit naar de heren drs. ing. H.M. Nieman en ir. B.J.M. Slot, die ons begeleid hebben vanuit school. Daarnaast zijn we veel dank verschuldigd aan onze bedrijfsbegeleiders de heren ing. J.J.P. van Dalen en ing. A.F. Kruithof voor hun begeleiding en adviezen. Tot slot willen wij alle collega’s van Nieman Raadgevende Ingenieurs bedanken voor de adviezen en documentatie.

Zwolle, 14 maart 2012



J.S. Boersma



W. Huisjes



## Inhoudsopgave

<b>Voorwoord</b>	<b>1</b>
<b>Inhoudsopgave</b>	<b>3</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>9</b>
<b>Begrippenlijst</b>	<b>13</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>17</b>
<b>2 Onderzoeksozet</b>	<b>19</b>
2.1 Aanleiding	19
2.2 Probleemstelling	19
2.3 Probleemanalyse	19
2.4 Onderzoeksvragen	20
2.5 Plan van aanpak	21
2.6 Onderzoeksmodel	22
<b>3 Definitie ‘energieneutraal’ bouwen</b>	<b>25</b>
3.1 Verschillende begrippen met verschillende definities?	25
3.2 Definiëring van het begrip ‘energieneutraal’	27
3.3 Conclusie	29
<b>4 Strategie ‘energieneutraal’ ontwerpen</b>	<b>31</b>
4.1 Kyoto Piramide	31
4.2 Trias Energetica / Nieuwe stappenstrategie	32
4.3 Conclusie	33
<b>5 Energie bepalingsmethodes</b>	<b>35</b>
5.1 EPW	35
5.2 PHPP	36
5.3 Conclusie	37
<b>6 Energiegebruik</b>	<b>39</b>
6.1 Algemene invloeden	39
6.2 Gebouwbonden	39
6.3 Gebruikersgebonden	42
6.4 Energiebesparingen	42
6.5 Energieopbrengsten	44
6.6 Conclusie	44

<b>7</b>	<b>Gerealiseerde woningen</b>	<b>47</b>
7.1	Waarom deze woningen?	47
7.2	Oijen, Ons passiefhuis	47
7.3	Almere, Columbuskwartier	48
7.4	Selfkant, Passiefhuis (Duitsland)	49
7.5	Utrecht, Passiefhuis	50
7.6	Groenlo, Nulwoning	51
7.7	Amersfoort, Energiebalanswoning	52
7.8	Amsterdam, Steigereiland 2.0	53
7.9	Swalmen, Passiefhuisnu	54
7.10	Rotterdam, Appartementen Sleephellingstraat	54
7.11	Oostende, Energiezuinig (België)	55
7.12	Conclusie	56
<b>8.</b>	<b>Vergelijking energiegebruik</b>	<b>59</b>
8.1	Totaal energiegebruik	59
8.2	Ruimteverwarming + warmtapwater	60
8.3	Ruimteverwarming	62
8.4	Warmtapwater	64
8.5	Hulpenergie	66
8.6	Huishoudelijk	69
8.7	Energieopbrengst	71
8.8	Conclusie	74
<b>9</b>	<b>'Energie neutraal?'</b>	<b>77</b>
9.1	'Energie neutraal?'	77
9.2	Haalbaarheid	78
9.3	Conclusie	80
<b>10</b>	<b>Conclusie en aanbevelingen</b>	<b>81</b>
10.1	Conclusies	81
10.2	Aanbevelingen	84
	<b>Literatuurlijst</b>	<b>85</b>
	<b>Bijlage I: Totaal overzicht gerealiseerde woningen</b>	<b>I</b>
	<b>Bijlage II: Vergelijking energiegebruik per woning</b>	<b>III</b>
	<b>Bijlage III: Interne warmtelast</b>	<b>V</b>



## Samenvatting

In samenwerking met Nieman Raadgevende Ingenieurs te Zwolle, is onderzoek gedaan naar energieneutrale woningen en de vraag in hoeverre het berekende energiegebruik overeenkomt met het werkelijke energiegebruik. Het onderzoek is uitgevoerd om een betere inschatting te kunnen maken van het toekomstige energiegebruik van energieneutrale woningen.

In Nederland worden veel verschillende begrippen gebruikt om een energie- of klimaatambitie voor een woning te omschrijven. In het werkveld worden onder andere de volgende begrippen gebruikt: EPC = 0, Energieneutraal, Energieleverend, CO<sub>2</sub>-neutraal en Klimaatneutraal. Aan de hand van de door de overheid opgestelde richtlijnen, hebben wij onze definitie voor een energieneutrale woning vastgesteld. “De warmtevraag van een energieneutrale woning moet beperkt worden tot maximaal 15 kWh/m<sup>2</sup> (passiefhuisniveau). Bij het minimaliseren van de warmtevraag moet de woonkwaliteit centraal staan. De totale energievraag van de woning moet geminimaliseerd worden door zoveel mogelijk ontwerp gerelateerde maatregelen toe te passen, dit betekend zoveel mogelijk bewoners onafhankelijk. Een energieneutrale woning mag over een jaar gemeten, niet meer dan nul kilowattuur energie gebruiken. De elektriciteit voor een energieneutrale woning wordt opgewekt uit duurzame energie: windkracht, zonlicht, aardwarmte en omgevingswarmte. Dat betekent dat de geleverde elektriciteit vanuit het elektriciteitsnet, groene stroom moet zijn. Biomassa mag alleen worden toegepast als dit duurzaam geproduceerd wordt (herplanting). Een energieneutrale woning voldoet aan de definitie energieneutraal als zowel het gebouwgebonden als het gebruikersgebonden energiegebruik lokaal en duurzaam worden opgewekt, tijdens de gebruiksfase.”

Gedurende de ontwerpfase van een woning kan gebruik worden gemaakt van verschillende ontwerpstrategieën om het energiegebruik te verminderen. Hoe lager het energiegebruik is, hoe minder energieopwekking er nodig is om aan de eis voor ‘energieneutraal’ te voldoen. Voor dit onderzoek zijn de volgende ontwerpstrategieën onderzocht: de Trias Energetica / Nieuwe Stappen strategie en de Kyoto Piramide. Op basis van de ontwerpstrategie worden de maatregelen bepaald om een energieneutrale woning te realiseren. De twee ontwerpstrategieën hebben als doel om een energiezuinige woning te ontwerpen. In de Kyoto Piramide zijn de stappen voor ‘passieve zonne-energie’ en de stap ‘weergave en beheer van de energie’ opgenomen. Deze twee stappen maken geen deel uit van de Nieuwe stappenstrategie. De stap voor ‘weergave en beheer van de energiegebruik’ is nodig bij het controleren en sturen op het energiegebruik in energieneutrale woningen. In de Kyoto Piramide moet de stap ‘selecteer energiebron’ vervangen worden door ‘opwekken duurzame energie’. Door de stap te vervangen sluit de ontwerpstrategie aan bij het realiseren van energieneutrale woningen.

De twee veel gebruikte bepalingsmethodes voor het toetsen van de gestelde eisen aan een ontwerp, zijn de EPW (energieprestatienorm van woonfuncties en woongebouwen) en de PHPP (Passivhaus Projektierungs Paket). De bepalingsmethodes hebben allebei een ander doel. De EPW toetst hoe energiezuinig de woning is ten opzichte van in het bouwbesluit vastgesteld waarde. PHPP berekent aan de hand van fysische parameters een zo realistisch mogelijke benadering van het toekomstige energiegebruik van een woning. Beide bepalingsmethodes kunnen gebruikt worden om een berekening te maken voor een energieneutrale woning. Met de EPW kan het gebouwgebonden energiegebruik worden berekend. Voor het gebruikersgebonden energiegebruik moet bij de EPW methode een aanname worden meegenomen om het totale energiegebruik van een woning te bepalen. Met een PHPP berekening kan het totale energiegebruik berekend worden. Het gebruikersgebonden energiegebruik wordt in dit geval berekend op basis van aantal gebruikers, aanwezige huishoudelijke apparaten en type verlichting in de woning.

De energiebehoefte van een energieneutrale woning wordt beïnvloed door het gedrag en de gezinssamenstelling van de bewoners, evenals door het klimaat en de kwaliteit van de woning. Het ruimtelijk ontwerp, de bouw- en installatietechnische eigenschappen zijn van invloed op het gebouwgebonden energiegebruik. Het gebruik van huishoudelijke apparaten en verlichting vormen samen het gebruikersgebonden energiegebruik. De maatregelen zoals de douchewater-WTW, zonnecollectoren, hotfill en kleine huishoudelijke maatregelen zorgen voor een energiebesparing. De energieopbrengsten van de windturbine of PV-panelen zijn weer- en plaats afhankelijk.

Voor dit onderzoek zijn woningen onderzocht die in de ontwerpfase een ambitie hebben om energiezuinige, energiebalans of energieneutrale woning te realiseren. Bij de woningen is niet alleen het energiegebruik belangrijk, maar ook de ambitie om een duurzame, gezond binnenklimaat, hoog comfort en financieel voordelige woning te realiseren. De warmtevraag voor de onderzochte woningen is berekend met de PHPP berekening. Bij een aantal woningen is ook het totale primaire energiegebruik berekend met de PHPP berekening. Bij de energiebalanswoning in Amersfoort is het energiegebruik niet berekend met de PHPP berekening, maar alleen een EPW berekening. Als het totaal energiegebruik niet berekend is met de PHPP berekening, is het energiegebruik gebaseerd op basis van aannames van adviseur of de bewoner. De passiefhuizen zijn altijd voorzien van een goed geïsoleerde gebouwschil ( $R_c$  5 t/m 12,5  $m^2K/W$ ). De werkelijk gemeten luchtdichtheid van de onderzochte passiefhuizen ligt lager dan  $0,6/h^{-1}$ , bij de woning in Selfkant is de werkelijk gemeten luchtdichtheid zelfs  $0,09/h^{-1}$ . De woningen zijn bijna allemaal voorzien van gebalanceerd ventilatiesysteem met een WTW-unit. De demonstratiewoning in Almere is voorzien van natuurlijke toevoer / mechanische afvoer. Van de tien onderzochte woningen zijn zoveel mogelijk de energiegebruik- en opbrengstgegevens verzameld. Bij de woningen in Oijen en Utrecht zijn metingen van het energiegebruik van enkele huishoudelijke apparaten en installaties twee á drie weken gemonitord.

Van het energiegebruik zo ver mogelijk een vergelijking gemaakt tussen het berekende energiegebruik en het werkelijke energiegebruik voor ruimteverwarming, warmtapwater, hulpenergie, huishoudelijk en de energieopbrengsten.

- In meerdere woningen levert een warmtepomp, pelletkachel of gasketel zowel de warmte voor ruimteverwarming als voor warmtapwater. Hierdoor is het lastig om onderscheid te maken tussen de geleverde warmte voor ruimteverwarming en warmtapwater. Bij de woningen in Amsterdam en Selfkant is het werkelijk energiegebruik door de pelletkachel voor ruimteverwarming en warmtapwater veel hoger dan berekend. In dit onderzoek is het functioneren van de pelletkachel en de warmtepomp niet nader onderzocht, is uitgegaan van de aangegeven fabriekswaarde. Hierdoor is de werkelijke geleverde warmte van de installatie niet volledig betrouwbaar. Om een volledig betrouwbaar beeld te kunnen geven zullen metingen moet worden gedaan naar de werkelijk opgewerkte warmte.
- Het referentieklimaat 'De Bilt' in de PHPP berekening gaat uit van 3075 graaddagen per stookseizoen oktober t/m 26 april. De werkelijk gemeten graaddagen in 'De Bilt' zijn over de periode oktober t/m april in de jaren 2009,2010 en 2011 gemiddeld 2930 graaddagen.
- De werkelijk interne warmtebron is van veel factoren afhankelijk, bij benadering van de werkelijke interne warmte op basis van het jaarlijkse energiegebruik en aantal personen, zal de interne warmte bij de woningen hoger dan  $2,1 W/m^2$  (PHPP) en lager dan  $6,0 W/m^2$  (EPW) zijn. Voor de toekomstige energieneutrale woningen zal naar de interne warmte verder onderzoek gedaan moeten worden.
- Het energiegebruik voor warmtapwater is bij bepaalde woningen gebaseerd op een aanname 1800 kWh van 'Milieu centraal' voor een gemiddeld huishouden van 2,3 personen. De aanname

voor het energiegebruik is gecorrigeerd op de werkelijke gezinssamenstelling. In dit onderzoek is het functioneren van de zonnecollectoren niet nader onderzocht, er is uitgegaan van de aangegeven fabriekswaarde. Hierdoor is de werkelijke energiebesparing door de zonnecollectoren niet volledig betrouwbaar. Om een volledig betrouwbaar beeld te kunnen creëren, zal hiernaar nader onderzoek naar gedaan moeten worden.

- Bij de woningen is de werkelijke ventilatiecapaciteit lager of gelijk aan de berekende ventilatiecapaciteit. Door een lagere ventilatiecapaciteit is het werkelijk energiegebruik voor ventilatie ook lager dan berekend. De verhouding tussen de ventilatiecapaciteit en het energiegebruik ligt in de werkelijkheid rond de 0,21 Wh/m<sup>3</sup>.
- Het werkelijke huishoudelijke energiegebruik is vergeleken met het gemiddelde Nederlands huishoudelijk energie. Het verschil tussen het gemiddelde Nederlands huishoudelijk energie (3.990 kWh) en het werkelijk energiegebruik (4.714 kWh) van de onderzochte woningen is ongeveer 724 kWh. Het hogere energiegebruik voor huishoudelijk en hulpenergie wordt waarschijnlijk veroorzaakt door meerdere installaties en elektrisch koken. Bij enkele woningen is met de PHPP berekening het huishoudelijk energiegebruik berekend. Als alle werkelijke aanwezige huishoudelijke apparaten zijn ingevoerd komt het in PHPP berekende energiegebruik overeen met het werkelijke energiegebruik.
- De vooraf aangenomen energieopbrengst van de PV-panelen, is bij elke woning verschillend en daarom niet voor dit onderzoek gebruikt. De woningen waar PV-panelen zijn toegepast, is het Watt piekvermogen (Wp) en de jaarlijkse energieopbrengst bekend. Om de woningen met elkaar te kunnen vergelijken, is de energieopbrengst gecorrigeerd naar 1000 kWh/m<sup>2</sup> globale straling. De 1000 kWh/m<sup>2</sup> is de gemiddelde globale straling in Nederland. De verhouding tussen het Wp en de werkelijke energieopbrengst ligt bij de onderzochte projecten tussen de 0,64 en de 1,05. Het verschil is veroorzaakt door de hellingshoek, -richting en omvormer van de PV-panelen. De gemiddelde verhouding van de onderzochte woningen is 0,81.
- Twee van de onderzochte woningen zijn voorzien van Donqi Urban windturbines. Uitgaande van jaarlijkse gemiddelde windsnelheid, voldoet de werkelijke energieopbrengst van de windturbines niet aan de verwachte energieopbrengst.

Als laatste zijn alle gerealiseerde woningen onderzocht op de haalbaarheid van 'energieneutraal'. Is de woning al 'energieneutraal' of kan vormt de woning een goede basis om in de toekomst 'energieneutraal' gemaakt te kunnen worden. De Nulwoning in Groenlo is de enige woning die 'energieneutraal' is. De woning kan zelfs gedefinieerd worden als 'energieleverende' of 'energieplus' woning. De woning in Utrecht vormt een goede basis om in de toekomst een 'energieneutrale woning' van te maken. De woning heeft een laag energiegebruik. Door in de toekomst PV-panelen te plaatsen, is de woning op relatief eenvoudige wijze 'energieneutraal' te maken. Om alle onderzochte woningen 'energieneutraal' te maken moet meer aandacht besteed worden aan energiebesparing en een hoger energieopbrengst realiseren, bijvoorbeeld door een hogere opbrengst per m<sup>2</sup> PV-paneel of windturbines verbeteren.



## Summary

In cooperation with the consultancy company Nieman R.I. located in Zwolle a research on the energy neutral houses have been made. The question is how accuracy the calculated energy consumption is verses the actual energy consumption. This investigation is conducted to be able to make a more reliable estimation of the future energy consumption of energy neutral houses.

In the Netherlands there are a number of different definitions to specify the energy or house climate behaviour . Amongst others, the following definitions are being used in professional services: EPC = 0, near-zero energy building, energy-plus buildings, CO<sub>2</sub> zero and climate neutral. Using the guidelines established by the government, for this research a definition has been made for a zero based energy building stating " The energy demand of an energy neutral house is limited to maximum 15 kWh/m<sup>3</sup> (passive house level). The total energy demand needs to be minimalized by measures that are as much as possible residents independent. The aim is primary the quality of living when minimalizing the energy demand. Measured over one year, a zero balanced energy building should have an energy consumption of close to zero kilowatt hours of primary energy". The energy used by a "zero based energy building" is generated from renewable energy sources like wind, sunlight, geothermal heat and ambient heat. As consequence the electricity used from the grid needs to be so called green energy. Energy generated from biomass can only be used if the biomass is sustainable generated (re planting). The label "energy neutral building " can only be given if the building-related energy as well as the user related energy consumption is generated locally and sustainable during its operational use. "

During the design phase of a house, various design strategies can be used for reducing the energy consumption. The lower the energy use the less need for energy generation to meet the energy neutral specification. In this report is examined the following design strategies: the Trias Energetica / New stepping strategy and the Kyoto Pyramid. Based on the design strategy measures are taken to create a zero balanced energy building. The two design strategies are aiming for a design of an energy efficient house. The less energy is being used, the less energy is required to meet the demand for the energy zero standards. The Kyoto Pyramid includes the topics passive solar energy, the display of energy consumption and the management of energy use. These topics are not part of the "Nieuwe stappen strategy". The subjects "display" and "energy management" are needed for monitoring and controlling the energy neutral buildings. By replacing these steps the Kyoto Pyramid better achieves the realisation of the energy neutral buildings.

The two most common used determination methods for verifying a design and the verification if it meets the requirements are, the EPW (energieprestatienorm van woonfuncties en woongebouwen = energy performance standard for houses and buildings) and the PHPP (Passive House Planning Package). The determination methods both have different purposes. The EPW verifies the energy efficiency of the buildings based on the valid NEN-standards and a declaration of conformity for products. PHPP determination is based on the physical parameters and a realistic approximation of the future energy consumption of the designed building. The two determinations methods can both be used for the calculations of a "zero balanced energy building. The EPW can calculated the energy consumption of building and with this method an assumptions of the user-related energy consumption can be made to achieve a full zero balanced energy building. The PHPP method can calculate the total primary energy being used. For this method the user-related energy consumption is based on the number of users, the type of installed household appliances and the house lighting plan.

The energy consumption of an energy neutral building is generally determined by the number of residents, their behaviour as by the climate and the quality of the houses.

The spatial design, the construction elements and installation components have effect on the building-related energy consumption. The use of household appliances and the lighting elements are together the user-related energy consumption. Energy conservation measures such as shower water heat recovery, hotfill and small household measures ensure that the energy demands decrease. The energy supply generated by wind turbine or PV-panels are weather and location depending.

During the research a number of projects have been examined that are aiming for a reduced energy consumption, energy saving, or a nearly-zero energy to zero energy building. For each house is described which determination method and design strategy is being used. As far as possible for the houses under investigation there has been requested the energy consumption and the generated energy.

The spatial design, construction and installed technical components will affect the building-related energy consumption. The use of household appliances and lighting are compensating the user-related energy use. Measures such as the shower water heat recovery, solar collectors, and small household hotfill ensures energy saving. The energy yield of wind turbine or PV panels are weather and location dependent.

This study has been using housing designs that had the goal for saving energy, being energy balanced or creating energy-neutral buildings. For houses, in addition to energy consumption, it is also important to target for sustainability, a healthy indoor climate, comfort and financially affordable housing. For passive houses, the heat calculated need to be done using the PHPP calculation. The energy balanced houses in Amersfoort are calculated using an EPW calculation. For a number of passive houses the total primary energy is calculated with the PHPP calculation. For the cases that the total energy is not calculated with the PHPP calculation, the energy consumption is based on the assumptions of a consultant or by the estimation of the resident. The passive houses are always supplied with a well-insulated building envelope ( $R_c$  5 t/m  $12,5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ). The airtightness of the passive house is less than  $0,6 / \text{h}^{-1}$ . For the house at "Selfkant" is the airtightness  $0,09 / \text{h}^{-1}$ . Nearly all of the houses are equipped with a balanced ventilation system with a heat recovery unit. The pilot house at the Almere has a natural ventilation and a mechanical forced ventilation system. For ten houses is as much as possible the data collected for the energy use and the energy gain of the buildings. For the houses at Oijen and Utrecht the energy of some household appliances and installations have been measurement and monitored during 2 to 3 weeks.

For the energy consumption a comparison has been made between the calculated energy and actual energy being used for interior heating, the hot water supply, household equipment, return of household heat waste and energy gain.

- In a number of buildings the heat pump, the pellet stove or the gas boiler delivered the interior heating and also the heat for the hot water supply. This makes it difficult to distinguish between the supplied for interior heating and the energy for the domestic hot water supply. For the houses in Amsterdam and Selfkant is the actually energy consumption for the pellet stove that is used for interior heating and hot water much higher than been calculated. In this study the functioning of the pellet stove and the heat pump has not been further investigated, the specified default values listed by the manufacture have been used. As a result, the actual delivered heat by the installation is not very reliable. For reliable values, measurements of the efficiency have to be made.
- The referenced climate values 'De Bilt' in the PHPP calculation assumes 3,075 heating demand days per year for the period October till 26 April. For the period October till April in the years

2009, 2010 and 2011 the actual measured heat demand days in 'De Bilt' had an average of 2930 days per year.

- The actual internal heat source depends on many factors, the approximation of the internal heat is based on the annual energy consumption and the number of persons, the internal heat in the houses will not be higher than  $2.1 \text{ W/m}^2$  (PHPP) and not lower than  $6.0 \text{ W/m}^2$  (EPW). For the future calculations of energy neutral buildings further internal heat research should be performed.
- In a number of houses for the hot water supply an assumption of 1800 kWh has been made ('Environmental central') for an average household of 2.3 persons. The assumption for the energy consumption has been corrected with the actual size of the household. In this study the functioning of the solar collectors has not been further investigated, it has been based on the specified manufacturing default value. Therefore the real energy savings through the solar collectors are not fully reliable. To get more reliable values additional measurements need to be performed.
- In the housing the actual ventilation capacity is lower or equal to the calculated ventilation capacity. Due to lower ventilation capacity the actual energy consumption for ventilation will also be lower than calculated. The relationship between the ventilation capacity and the energy use is actually around  $0.21 \text{ Wh/m}^3$ .
- The energy consumption of the households and the appliances meet the average residential energy and corresponds to the relative Nibud values (the number of persons in the household). For some houses the PHPP calculation has been made to determine the household energy consumed. If all actual existing appliances are entered in the PHPP, it corresponds to the actual energy consumption.
- Of the houses where PV panels were applied the Watt peak (Wp) and the annual energy yield are known. To compare the Wp and the energy yield of the different houses the actual measured global radiation has been corrected with the Dutch average ( $1000 \text{ kWh/m}^2$ ). The average ratio between the Wp and the actual energy varies between 0.64 and 1.05, the average is 0.81.
- Two of the investigated houses were provided with wind turbines. Based on an annual average wind speed, the actual energy output of the wind turbines does not meet the expected energy yield.

Finally, all constructed houses were investigated on the feasibility of 'energy neutral'. Is the house already 'energy neutral' or can the house be made 'energy neutral' in the future. The Nulwoning in Groenlo is the only house which is 'energy neutral'. The house itself can be defined as "energy generating" or "energy plus building". For the future the house in Utrecht has a good base to be changed to a 'zero energy house'. The house has a low energy consumption, by applying a number of PV panels in the future, the house can become energy neutral. To make the actual homes more energy-neutral, more attention needs to be paid to energy savings, and for PV panels a higher energy yield per square meter.





## Begrippenlijst

In de begrippenlijst zijn de termen, definities en afkortingen, die in dit rapport zijn opgenomen en waar naar wordt verwezen, nader verklaard. De begrippenlijst is alfabetisch gerangschikt.

### **Balansventilatie met armteterugwinning-unit (wtw-unit)**

Een balansventilatiesysteem met warmteterugwinning (wtw) is een ventilatiesysteem waarbij de vervuilde warme lucht vanuit de woning, door middel van afzuigventielen, uit de woning wordt gezogen. Vervolgens wordt deze lucht via een warmtewisselaar in het geheel naar buiten geblazen. Alleen de warmte uit deze lucht wordt door middel van die warmtewisselaar gebruikt om verse lucht, van buiten de woning voor te verwarmen. Deze verse lucht wordt, nadat deze door de warmtewisselaar is verwarmd, via leidingen de woning ingeblazen.

### **Certificaat PassiefBouwen Keur**

Het keurmerk PassiefBouwen Keur is ontwikkeld door Passiefhuis-Platform (PHP) om te bereiken, dat een passieve woning of een passief gebouw aan (hoge) minimumeisen voldoet. Het certificaat PassiefBouwen Keur wordt in twee fases uitgegeven:

#### 1. Ontworpen volgens PassiefBouwen Keur

Nadat is gebleken dat het ontwerp aan de passiefnormen voldoet, met name aan de hand van een PHPP-berekening en tekeningen.

#### 2. Gebouwd volgens PassiefBouwen Keur

Nadat is gebleken dat conform het ontwerp en volgens passiefnormen gebouwd is met controles tijdens de bouw, een blowerdoortest en controle van de ventilatie-installatie bij oplevering en op het eerst mogelijke moment een infraroodcontrole.

### **Coefficient Of Performance (COP-waarde)**

De COP-waarde is het getal die een verhouding aangeeft tussen de gebruikte elektrische energie en de verkregen bruikbare energie voor warmte of koeling

### **Duurzaam**

Duurzaam (tijdsduur)- van lange duur; van een product: dat lang meegaat.

Duurzaam (ontwikkeling) - van een proces: dat permanent kan worden toegepast omdat het de aarde niet uitput; van een product: dat gemaakt wordt met een productiemethode die in deze zin duurzaam is.

### **Energieprestatie Coëfficiënt (EPC)**

In het bouwbesluit vastgelegde waarde (conform de berekeningswijze van de Energieprestatie Norm) waaraan een nieuwbouwwoning moet voldoen.

### **Energieprestatienorm van gebouwen (EPG)**

De energieprestatienorm van gebouwen (EPG) is een nieuwe, overkoepelende bepalingsmethode voor de energieprestatie van gebouwen. De EPG geldt zowel voor woningen als voor utiliteitsgebouwen (kantoren, scholen, winkels, ziekenhuizen en dergelijke).

### **Energieprestatienorm van woonfuncties en woongebouwen (EPW)**

De genormeerde methode om de Energieprestatie Coëfficiënt (EPC) voor nieuwbouw te bepalen.

### **Gebouwgebonden energiegebruik**

Het gebouwgebonden energiegebruik bestaat uit de verwarming, koeling, warmtapwater en ventilatie.

### **Gebruikersgebonden energiegebruik**

Energie voor het gebruik van huishoudelijke apparaten zoals computers, opladers, strijkijzer, koelkast en andere apparatuur die in en rond het huis gebruikt worden, is het gebruikersgebonden energiegebruik.

### **Graaddagen**

Een graaddag is een rekeneenheid om de variërende buitentemperatuur op een eenvoudige manier mee te kunnen nemen in de berekeningen over energiegebruik. Het verschil tussen een lagere buitentemperatuur en de binnentemperatuur bepaald het aantal graaddagen in een jaar. Het aantal graden van de buitentemperatuur onder de binnentemperatuur is gegeven in aantal graaddagen in het jaar.

### **Groene stroom**

Elektriciteit, opgewekt door gebruik te maken van hernieuwbare energiebronnen. Bijvoorbeeld zonne-energie en windenergie, een bron die nog vele jaren beschikbaar zal zijn.

### **Hulpenergie**

Het gebouwgebonden energiegebruik, bestaat uit het deel energiegebruik dat door installaties wordt gebruikt. Voor mechanische ventilatie moet gebruik worden gemaakt van elektriciteit voor de werking van ventilatoren. De verwarming heeft een pomp dat water in het leidingstelsel rondpompt. Deze pomp wordt aangedreven door elektriciteit. Veel installaties voor ventilatie, verwarming, warmtapwater hebben een aansluiting op het elektriciteitsnet. De energie die wordt gebruikt door de installaties is hulpenergie.

### **Kilowattuur primair (kWh primair)**

De energie die gebruikt wordt voor het opwekken van elektriciteit door bijvoorbeeld aardgas, kolen of olie (fossiele brandstoffen) die plaats vindt in een elektriciteitscentrale. Bij het opwekken van elektriciteit in een elektriciteitscentrale is er een verlies van energie bij het omzetten van primaire energie (fossiele brandstof) naar elektrische energie aanwezig. Tijdens het transport van de centrale, naar de gebruiker treden eveneens verliezen op. Het rendement dat uiteindelijk als kWh elektriciteit (op de meter) gebruikt kan worden bedraagt circa 39%. Om het gas- ( $\text{m}^3$ ), elektriciteitsgebruik (kWh) en houtkorrels (kg) onderling te kunnen vergelijken, worden de energiegebruiken omgerekend naar primair energiegebruik. In Nederland wordt er, in tegenstelling tot Duitsland, geen productie en transportverlies gerekend over het gasgebruik. Eén  $\text{m}^3$  aardgas komt overeen met  $35,17/3,6 \approx 9,8$  kWh primaire energie. In de PHPP berekening wordt het als volgt berekend. Van  $\text{m}^3$  gas naar kWh Primaire energie =  $9,8$  (energie-inhoud  $1 \text{ m}^3$  gas) \*  $1,1$  (productie & transportverliezen). In een kilogram hout zit ongeveer 5 kWh aan energie, als het hout duurzaam geproduceerd is moet nog 20% van het energiegebruik gerekend worden voor verwerking en transport van het hout. Een kilo hout maal 5,0 maal 0,2 komt dus overeen met een 1 kWh primaire energie.

### **Kooldioxide (CO<sub>2</sub>)**

CO<sub>2</sub> (Kooldioxide) komt vrij bij verbranding, bijvoorbeeld bij verbranding van fossiele brandstoffen zoals olieproducten en aardgas. CO<sub>2</sub> ontstaat bij een volledige verbranding, waardoor het CO gas wordt verbrand en omgezet in CO<sub>2</sub> gas.

### **Kilowattuurmeter (kWh-meter)**

Een kilowattuurmeter of elektriciteitsmeter meet het elektriciteitsverbruik van een huishouden. Het elektriciteitsverbruik is het product van elektrisch vermogen en tijd. Een dergelijke meter is meestal geplaatst in de meterkast, of is onderdeel van een elektrische installatie. Sommige meters hebben twee telwerken: één voor gewoon tarief en één voor nacht- en weekeindtarief.

### **Lineaire warmtedoorgangscoefficiënt**

De lineaire warmtedoorgangscoefficiënt ( [Ψ] Psi-waarde in W/mK) geeft aan hoeveel warmte verloren gaat door een lineaire thermische brug, per strekkende meter bij een temperatuurverschil van één graad.

### **Luchtdichtheid: N<sub>50</sub>-waarde**

Luchtdichtheidstest ventilatievoud bij 50 Pascal (N/m<sup>2</sup>) drukverschil, is het aantal keren dat de inhoud van de woning per uur door infiltratie(ongecontroleerd) wordt geventileerd. De mate waarin een gebouw door naden en kieren lucht laat ontsnappen, heet de luchtdoorlatendheid, ook wel infiltratie genoemd. Een passiefhuis mag een maximale volumestroom hebben van n<sub>50</sub>= 0,6 h<sup>-1</sup>, dat wil zeggen dat de woning per uur 0,6 maal het volume per uur, mag 'leken'. Vergelijkend met het Bouwbesluit 2003 eis (qv<sub>10</sub>: 0,625), welke overeenkomt met ongeveer een n<sub>50</sub> waarde van 4 h<sup>-1</sup>. Een luchtdichtheidsmeting is een druktest, ook wel Blowerdoor test genoemd, waarbij de woning of het gebouw in een beperkte overdruk of onderdruk wordt gezet.

### **Materiaalgebonden energiegebruik**

Het materiaalgebonden energiegebruik is de energie die nodig is voor winning, productie, transport en afvalverwerking van de materialen voor de constructie van de woning.

### **Nederlands Normalisatie-Instituut (NEN)**

Instelling die zich voornamelijk bezig houdt met de ontwikkeling van normen regelgeving.

### **Nederlandse Praktijk Richtlijnen (NPR)**

Kan bestaan uit bijvoorbeeld een computerprogramma, een vereenvoudigde bepalingsmethode of een reeks concrete voorbeelden die voldoen aan een bepaalde Bouwbesluit-eis

### **Passiefhuis**

Het in Duitsland ontwikkelde concept passiefhuis bouwen neemt de warmtewinst van zon, bewoners en hun apparatuur als vertrekpunt voor de warmtehuishouding van de woning. Door die "gratis" energie zonder extra inspanning (passief) te benutten, wordt een verwarming (bijna) overbodig. Een passiefhuis onderscheidt zich door de bijzondere combinatie van een zeer hoogwaardig en aangenaam binnenklimaat en een zeer laag energiegebruik. Door een goed uitgewerkt compact ontwerp, georiënteerd op de zon, uitgevoerd met zeer goede schilisolatie en een effectieve kierdichting, kan warmte nauwelijks weg uit het passiefhuis. Hierdoor is er nog maar heel weinig energie nodig om de woning in de winter op temperatuur te houden. Dan

zorgen passieve warmtebronnen zoals de zon en interne warmtelast zoals bewoners en huishoudelijke apparaten voor bijna alle benodigde warmte. Door de kleine hoeveelheid verwarming die dan nog nodig is op een slimme manier over de lucht van het gebalanceerde ventilatiesysteem aan te voeren, is een conventioneel verwarmingssysteem overbodig. In de zomer garanderen passieve strategieën zoals een goed ontwerp, zware schilisolatie, de aanwezigheid van thermische massa, zonwering en nachtventilatie een comfortabel binnenklimaat. Een passiefhuis heeft per jaar een warmtevraag voor ruimteverwarming van 15 kWh/m<sup>2</sup>, dit komt ongeveer overeen met een gasgebruik van circa 1,5 m<sup>3</sup> gas/m<sup>2</sup> vloeroppervlakte. Voor het totale energiegebruik van een huishouden wordt gestreefd naar een totaal maximum primair energiegebruik niet hoger dan 120 kWh/m<sup>2</sup> per jaar.

### Passivhaus Projektierug Paket (PHPP )

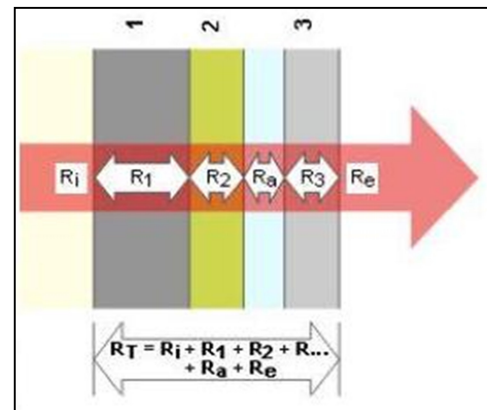
De PHPP bepalingmethode is ontwikkeld in Duitsland door Passivhaus Institut (PHI, Duitsland). De PHPP berekening is gebaseerd op de Europese Norm EN832 voor de bepaling van energieprestatie van gebouwen. De PHPP berekening is ontwikkeld om in de ontwerpfase inzicht te krijgen in de energiezuinigheid van het gebouw.

### Warmtedoorgangscoefficiënt: U-waarde

De U-waarde is de warmtedoorgangscoefficiënt, uitgedrukt in W/m<sup>2</sup>K. De U-waarde is de waarde omgekeerd aan de R<sub>totaal</sub>. De U-waarde = 1/R<sub>totaal</sub>.

### Warmteweerstand: R-waarde

De R-waarde is de warmteweerstand, uitgedrukt in m<sup>2</sup>.K/W. De warmteweerstand of R-waarde geeft het warmte-isolerend vermogen van een materiaal laag aan. R<sub>totaal</sub> is de som van de verschillende R-waarden inclusief de overgangswaarden, R<sub>c</sub>-waarde is de warmteweerstand van een constructie.



Afbeelding B.1: Opbouw warmteweerstand constructie (bron) [www.joostdevree.nl](http://www.joostdevree.nl)

### Watt piekvermogen

Het Watt piekvermogen (Wp) is het maximaal vermogen dat een PV-paneel onder normale omstandigheden bereikt. Het piekvermogen wordt bepaald onder ideale laboratoriumomstandigheden met 1000 W lichtinstraling per vierkante meter.



## 1 Inleiding

Als afsluiting van de opleiding Bouwkunde aan de Christelijke Hogeschool Windesheim te Zwolle, is een onderzoek uitgevoerd naar energieneutrale woningen in de praktijk. Het onderzoek “Energie neutraal bouwen in de praktijk” is uitgevoerd in samenwerking met Nieman Raadgevende Ingenieurs te Zwolle. Nieman R.I. is een ingenieursbureau voor kwaliteitszorg en bouwfysica. Nieman R.I. is sinds 1988 actief als kennis- en adviesbureau voor woning- en utiliteitsbouw, zie [www.nieman.nl](http://www.nieman.nl) voor meer informatie.

Nieman R.I. is betrokken bij het adviseren van energieneutrale woningen. Een voorbeeld is de realisatie van het HOE-concept (Hardenberg nul energie). Daarnaast streeft een aantal woningbouwcorporaties uit Oost Nederland (gebundeld in de Vereniging WoON) ernaar vóór 2014 daadwerkelijk minimaal vijftig energieneutrale woningen te realiseren. Nieman R.I. is betrokken bij Vereniging WoON op het gebied van energie, als adviserende en controlerende partij. Hierdoor is Nieman R.I. op verschillende manieren betrokken bij het realiseren van energieneutrale woningen.



## 2 Onderzoeksopzet

### 2.1 Aanleiding

Alle nieuwbouwwoningen die vanaf 2020 worden gerealiseerd moeten van de overheid 'energieneutraal' worden gebouwd. Op dit moment zijn er al enkele energieneutrale woningen gerealiseerd en zijn er nog een aantal in ontwikkeling. Nieman R.I. is betrokken bij de realisatie van energieneutrale woningen als adviseur en toetsers. In Nederland worden meerdere definities gebruikt voor het begrip 'energieneutraal' bouwen. De uiteindelijke ambitie hangt af van de opdrachtgever en wat de wet voorschrijft, nu en in de toekomst. Om vast te stellen of een woning aan de ambitie voldoet, dient er vooraf een berekening te worden gemaakt. De adviseurs van Nieman R.I. maken voor de opdrachtgevers onder andere berekeningen voor het verwachte energiegebruik van de woning. De overheid heeft voor nieuwbouw woningen de EPC (Energieprestatie Coëfficiënt) eis opgesteld, waaraan de woningen moeten voldoen. De toetsing wordt uitgevoerd door middel van de EPW berekening. De EPC eis wordt de komende jaren met stappen aangescherpt tot eindelijk 'energieneutraal' in 2020. Om deze aanscherping van de eisen te realiseren zijn er nieuwe ontwerpstrategieën voor woningen nodig. Een voorbeeld van een ontwerpstrategie is het passiefhuis concept. Een passiefhuis wordt getoetst met de PHPP berekening (Passivhaus Projektierungs Paket). PHPP is een veelgebruikte bepalingmethode in Duitsland om onder andere de warmtevraag in de ontwerpfase te berekenen. In Nederland zijn nog weinig energieneutrale of passiefhuizen gerealiseerd. Bij het berekenen van nieuwe woningen kan daarom weinig gebruik worden gemaakt van ervaring uit gerealiseerde woningen. Van de gerealiseerde woningen is nog weinig terugkoppeling over de gebruiksfase bekend. De vraag die in Nederland, en zeker bij Nieman R.I. leeft, is in hoeverre het berekende energiegebruik overeenkomt met het werkelijke energiegebruik van energieneutrale woningen. Wanneer een betrouwbaarder beeld van energiegebruik bekend is, kan Nieman R.I. beter advies geven aan haar toekomstige opdrachtgevers bij het ontwerpen van energieneutrale woningen. Bij Nieman R.I. zijn weinig gebruik- en kwaliteitsgegevens bekend van gerealiseerde woningen. Als een woning wordt gemonitord worden er vaak weinig specifieke meetgegevens vastgelegd in de openbare rapportages. Doordat er slechts beperkte monitorgegevens bekend zijn uit de gebruiksfase is de terugkoppeling naar de bepalingmethode lastig. In overleg met Nieman R.I. is het afstudeeronderwerp tot stand gekomen.

### 2.2 Probleemstelling

Op basis van de aanleiding is de volgende probleemstelling gedefinieerd. Het onderzoek "Ergieneutraal bouwen in de praktijk" geeft antwoord op de volgende probleemstelling: "Wat bepaalt of een woning 'energieneutraal' is? Welke ontwerpstrategieën en bepalingmethode kunnen en zijn gebruikt bij de gerealiseerde energieneutrale woningen? Komen de werkelijke gemeten energiegebruiken van een woning overeen met de bepalingmethode?"

### 2.3 Probleemanalyse

Alle nieuwbouwwoningen die vanaf 2020 worden gerealiseerd moeten 'energieneutraal' zijn. In Nederland worden meerdere definities gebruikt voor het begrip 'energieneutraal' bouwen. Door de overheid is er geen heldere definitie van 'energieneutraal' vastgesteld. Aan welke eisen moet de definitie worden getoetst, en welke consequenties heeft de keuze van de definitie voor het energiegebruik?

Om het ontwerp te kunnen toetsen aan de doelstelling wordt gebruikt gemaakt van een bepalingmethode. Het theoretische berekenen van energiegebruik is mogelijk, maar in hoeverre het berekende energiegebruik het werkelijke energiegebruik benaderd is nog de vraag. Om dit te kunnen bepalen moeten er meerdere terugkoppelingen plaatsvinden van het specifieke energiegebruik tijdens de gebruiksfase van een energieneutrale woning. In Nederland worden nieuwbouwwoningen getoetst aan de EPC eis. Met de EPW en met andere bepalingmethodes kunnen berekeningen worden gemaakt om het verwachte energiegebruik te bepalen. Tussen het berekende en werkelijke energiegebruik kan door verschillende factoren een verschil ontstaan.

In de gebruiksfase kan het energiegebruik worden afgelezen van de kWh-meter. De meterstanden zijn alleen te verkrijgen met toestemming van de bewoners dit in verband met privacy van de bewoners. Het is in Nederland niet gebruikelijk om tijdens de gebruiksfase de parameters uit de bepalingmethode te monitoren. In de gebruiksfase hebben verschillende parameters invloed op het werkelijke energiegebruik. Door de parameters van het totale energiegebruik inzichtelijk te maken, kan er worden aangetoond wat de aanwijsbare verschillen zijn. Door het ontbreken van monitoring van de gebruik- en kwaliteitsgegevens, kunnen tekortkomingen niet verwerkt worden in de te ontwikkelen energieneutrale woning.

## 2.4 Onderzoeksvragen

Vanuit de probleemstelling zijn een aantal onderzoeksvragen naar voren gekomen. Door onderzoek te doen naar de onderstaande vragen is de probleemstelling opgelost.

1. Wat zijn de verschillende definities van het begrip 'energieneutraal' bouwen en zijn er nog andere definities mogelijk? Wat is onze eigen definitie voor het begrip 'energieneutraal'?
2. Welke energie ontwerpstrategie sluit aan bij het ontwerpen van een energieneutrale woning?
3. Welke bepalingmethode voor het energiegebruik kan worden gebruikt bij het ontwerpen van een energieneutrale woning, en hoe zijn deze bepalingmethodes opgebouwd?
4. Welke factoren zijn van invloed op het energiegebruik van een energieneutrale woning?
5. Welke energiezuinige en energieneutrale woningen zijn er gerealiseerd, welke definities, welke bepalingmethode en welke gegevens zijn er beschikbaar per woning?
6. Analyseren in hoeverre het energiegebruik overeenkomt ten opzichte van de bepalingmethode en vooraf gemaakte aannames. Wat kan de eventuele verschillen hebben veroorzaakt?
7. Welke woningen zijn 'energieneutraal' of vormen een goede basis om in de toekomst 'energieneutraal' gemaakt te kunnen worden?



## 2.5 Plan van aanpak

In de eerste fase zijn enkele woningen bezocht, om een goede indruk te krijgen op welke wijze in de praktijk energieneutrale woningen zijn gerealiseerd. De bezoeken zijn tevens gebruikt om in contact te komen met mensen die ervaring hebben met 'energieneutraal' bouwen in de praktijk. De definitie 'energieneutraal' is onderzocht door middel van literatuurstudie. In het werkveld is onderzoek gedaan naar de verschillende ambities van betrokken partijen. De verschillende partijen uit het werkveld hebben hun eigen definitie van 'energieneutraal' omschreven. Aan de hand hiervan is een eigen definitie van een energieneutrale woning geformuleerd. De eisen voor een energieneutrale woning worden uitgewerkt in de ontwerpfase, met alle bouwkundige en installatie componenten. Er wordt inzichtelijk gemaakt welke energie ontwerpstrategieën er nu tijdens de ontwerpfase al gebruikt worden. Daarbij wordt per ontwerpstrategie beschreven hoe deze is opgebouwd.

In de ontwerpfase van een energieneutrale woning wordt het totale energiegebruik berekend door middel van een bepalingsmethode. Er is onderzoek gedaan naar welke bepalingsmethodes worden toegepast bij de gerealiseerde energieneutrale woningen. De bepalingsmethodes zijn onderzocht op de opbouw en uitkomsten van de berekeningen. Uiteindelijk is er een vergelijking gemaakt tussen de bepalingsmethodes. De parameters die van invloed zijn op het energiegebruik van een energieneutrale woning zijn doormiddel van literatuurstudie onderzocht. De energieopbrengst en het totale energiegebruik bepalen uiteindelijk of er sprake is van energieneutraliteit. Het energiegebruik van een woning is opgebouwd uit gebouwgebonden en gebruikersgebonden.

Een aantal, in Nederland, gerealiseerde energiezuinige en energieneutrale woningen waarvan de technische gegevens bekend zijn, zijn benaderd om de gegevens van het energiegebruik voor dit onderzoek beschikbaar te stellen. Een aantal woning is ook daadwerkelijk bezocht. Van de woningen is zoveel mogelijk informatie verzameld van de vooraf gemaakte berekeningen, de bouw- en installatietechnische uitvoering, monitorgegevens of zelf twee á drie weken lang gemonitord.

Bij de woningen zijn alle parameters die zijn gemonitord in de gebruiksfase overzichtelijk opgesteld. De monitorgegevens zijn vergeleken met de uitkomsten van de bepalingsmethode. Door de vergelijking tussen het werkelijke energiegebruik en de aannames van de bepalingsmethode te maken, kunnen de verschillen inzichtelijk gemaakt worden. De oorzaken van de verschillen zullen geanalyseerd worden. Door alle woningen met elkaar te vergelijken op monitorgegevens en uitkomsten van de bepalingsmethodes. Kan bepaald worden of het woningconcept 'energieneutraal' is, of hoe het woningconcept in de toekomst wel 'energieneutraal' gerealiseerd kan worden.

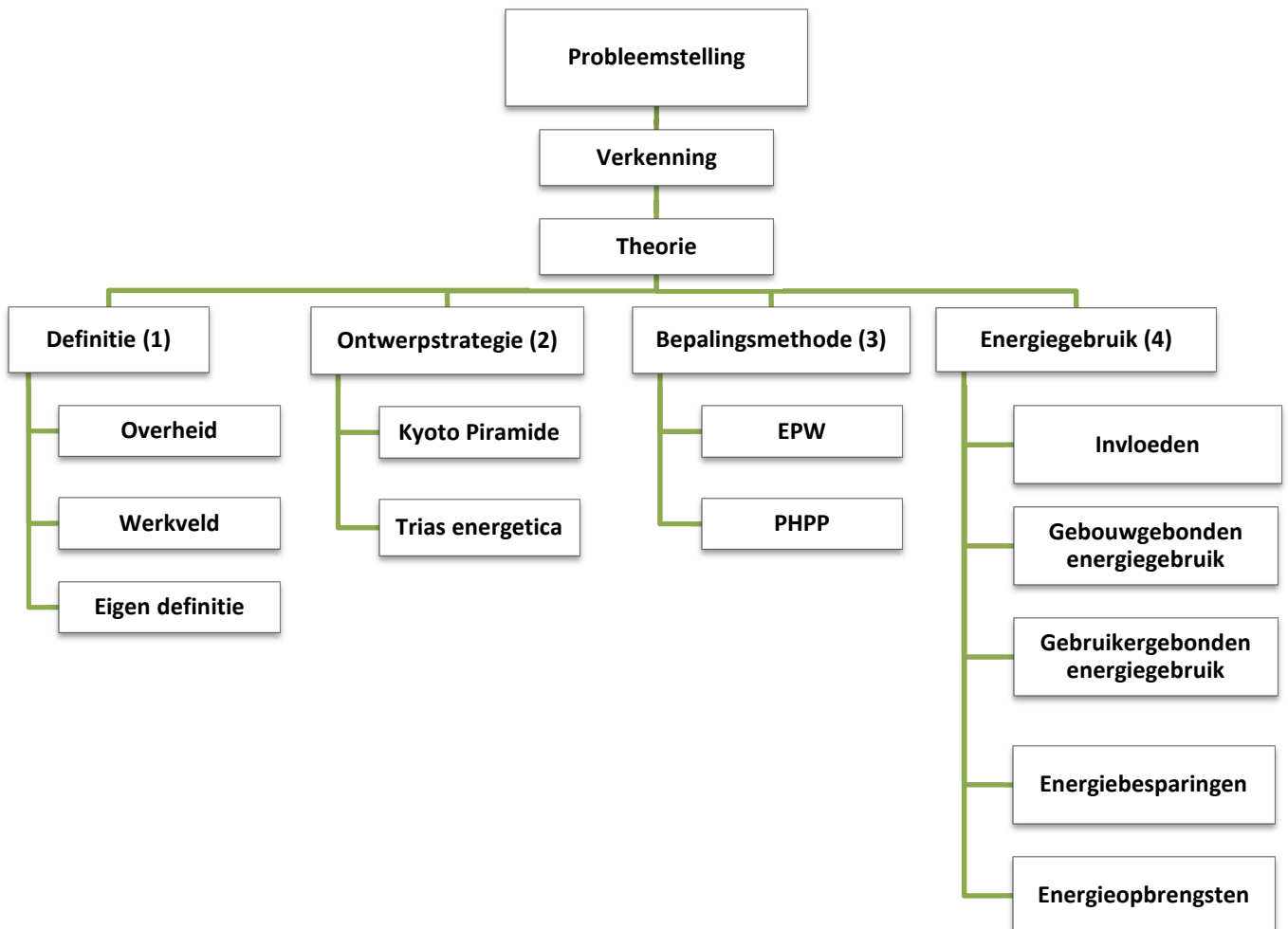
## 2.6 Onderzoeksmodel

---

### Fase 1: Oriëntatie en verwerven opdracht

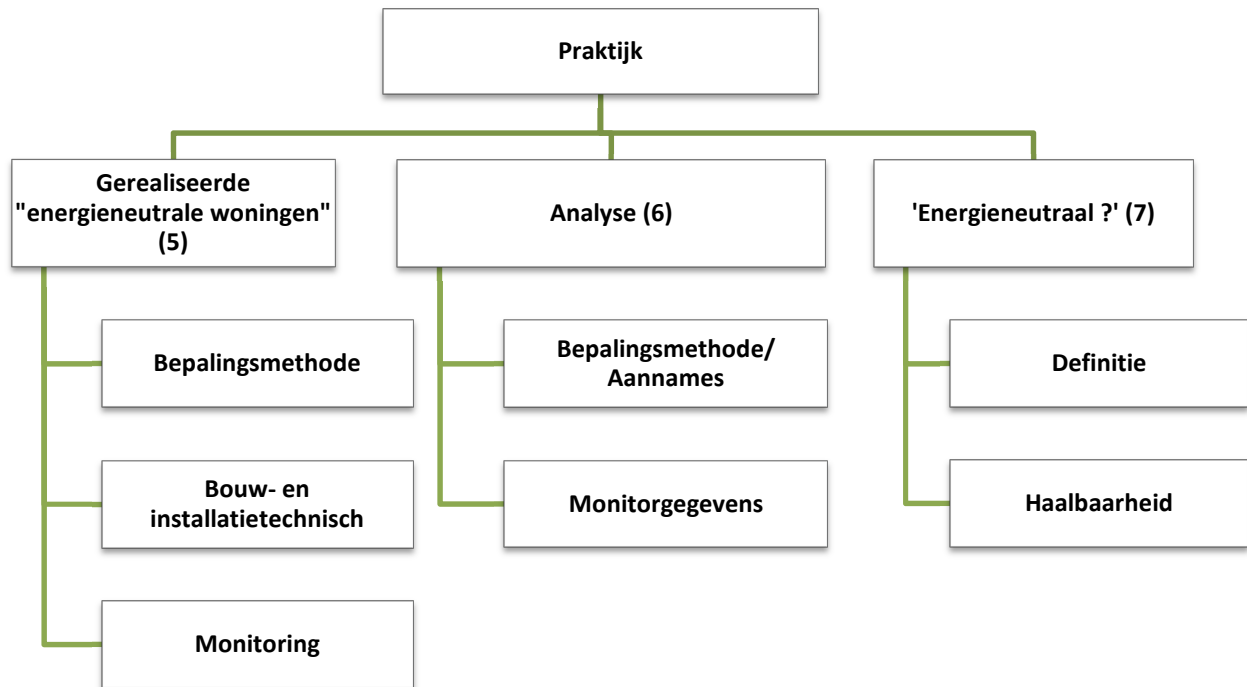
---

### Fase 2: Hoofdfase A: Verkenningfase



---

**Fase 2: Hoofdfase B: Verdiepingsfase**



---

**Fase 3: Uitwerkingsfase: Concept / eindrapport**





### 3 Definitie 'energieneutraal' bouwen

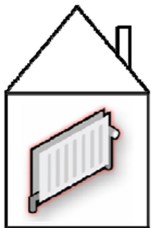
In Nederland worden veel verschillende begrippen gebruikt om een energie- of klimaatambitie voor een woning te omschrijven. In §3.1 is ingegaan op de veel voorkomende begrippen die in Nederland worden gebruikt. Voor het definiëren van een energieneutrale woning, moeten een aantal richtlijnen duidelijk geformuleerd worden. De opdrachtgever kan aan de hand van verschillende begrippen vastleggen wat een energieneutrale woning is. In §3.2 zijn op de verschillende richtlijnen ingegaan voor het definiëren van 'energieneutraal'. Uiteindelijk staat in §3.3 de definitie op een energieneutrale woning beschreven.

#### 3.1 Verschillende begrippen met verschillende definities?

Er zijn een aantal veel voorkomende begrippen die gebruikt worden om een energie- of klimaatambitie aan te geven. Voor dit onderzoek is nagegaan hoe de verschillende begrippen in het werkveld worden ingevuld.

##### EPC = 0

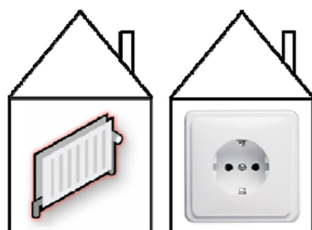
De EPC (Energieprestatie Coëfficiënt) neemt het gebouwgebonden energiegebruik mee in de berekening. Dit betekent dat er voor het gebouwgebonden energiegebruik volgens de Energieprestatienorm, over een jaar gerekend, net zoveel elektriciteit wordt opgewekt als wordt gebruikt voor gebouwgebonden energiegebruik.



Afbeelding 3.1: Gebouwgebonden energiegebruik.

##### Energieneutraal / Energienu

De Deense professor Sven Svenson heeft 'Nearly energy zero' als volgt gedefinieerd: Het gebouwgebonden en gebruikersgebonden energiegebruik worden grotendeels gecompenseerd door energieopwekking met duurzame bronnen. Het resterende primaire energiegebruik is  $\leq 20 \text{ kWh/m}^2$ . Advies- en ingenieursbureau DHV heeft in 'Uitgerekend Nul' de volgende definitie van 'energieneutraal' geformuleerd: "Gebruik het begrip 'energieneutraal' als het om de prestaties van een gebouw gaat. Door het ontwerp en de inrichting van een gebouw wordt primair het energiegebruik bepaald. Het gaat om Mega joules in de vorm van gas, elektriciteit en warmwater. De CO<sub>2</sub> - uitstoot die daarmee gepaard gaat is dan een afgeleide van het energiegebruik. De energievraag wordt bepaald op basis van het gebouwgebonden en gebruikersgebonden energiegebruik." [Agentschap NL, april 2010]



Afbeelding 3.2: Gebouwgebonden en gebruikersgebonden energiegebruik.

Om de begrippen klimaat-, CO<sub>2</sub>-en 'energie neutraal' helder te krijgen en om tot een breed gedragen definitie te komen heeft W/E adviseurs in opdracht van PeGO / SenterNovem een definitiestudie uitgevoerd. W/E adviseurs heeft in 'Stevige ambitie, klare taal!' de volgende beschrijving van 'energie neutraal' geformuleerd: "Een project is 'energie neutraal' als er op jaarbasis geen netto import van fossiele of nucleaire brandstof van buiten de systeemgrens nodig is om het gebouw op te richten, te gebruiken en af te breken. Dit betekent dat het energiegebruik binnen de projectgrens gelijk is aan de hoeveelheid duurzame energie die binnen de projectgrens wordt opgewekt of die op basis van externe maatregelen aan het project mag worden toegerekend. Het energiegebruik dat voortkomt uit de oprichting en sloop van het gebouw zullen naar een jaarlijkse bijdrage worden verrekend op basis van de verwachte levensduur van het gebouw." [PeGO, oktober 2009 ]



Afbeelding 3.3: Gebouwgebonden, gebruikersgebonden en materiaalgebonden energiegebruik.

### Energieleverend / Energieplus

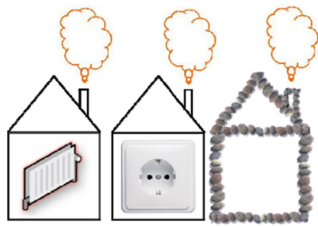
Het afstudeerproject van Ing. T. (Tim) van Twuijver is in het kader van de masterrichting 'Technologie en innovatiebeleid' van de opleiding 'Technische Innovatiewetenschappen' aan de Technische Universiteit Eindhoven'. Het rapport is geschreven in opdracht van de groep 'Systeemintegratie' binnen de unit 'Energie in de gebouwde omgeving en netten' Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN). Tim van Twuijver heeft in 'Woning als energieleverend systeem' de volgende beschrijving van 'energieleverend' geformuleerd: "Een energieleverende woning is in staat om over het jaar heen netto energie te produceren. Dit betekent dat er op woningniveau jaarlijks meer energie wordt opwekt dan er nodig is voor de gebouwgebonden en gebruikersgebonden energievraag van de betreffende woning. De energievraag van een woning bestaat uit de vraag naar elektriciteit en warmte. Het dan nog resterende netto overschot aan energie kan worden afgegeven aan de (nabije) omgeving." [Twuijver, augustus 2007]



Afbeelding 3.4: Gebouwgebonden en gebruikersgebonden energiegebruik + energie overschot

### CO<sub>2</sub>-neutraal / CO<sub>2</sub>-emissievrij

W/E adviseurs heeft in 'Stevige ambitie, klare taal!' de volgende beschrijving van 'CO<sub>2</sub>-neutraal' geformuleerd: "Een project is 'CO<sub>2</sub>-neutraal' als er op jaarbasis geen netto uitstoot van broeikasgassen nodig is om het gebouw op te richten, te gebruiken en af te breken. Dit betekent dat de broeikasgasemissie binnen de projectgrens gelijk is aan de hoeveelheid broeikasgassen die binnen de systeemgrens wordt vastgelegd, opgeslagen of gecompenseerd en die aan het project mag worden toegerekend. De emissies die voortkomen uit de oprichting en sloop van het gebouw zullen naar een jaarlijkse bijdrage worden verrekend op basis van de verwachte levensduur van het gebouw." [PeGO, oktober 2009]



Afbeelding 3.5: Gebouwgebonden, gebruikersgebonden en materiaalgebonden uitstoot van broeikasgassen.

Agentschap NL

(Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer) beschrijft in het informatie blad 'Energie neutraal Bouwen, hoe doe je dat' welke richtlijnen van belang zijn bij het realiseren van energieneutrale gebouwen en woningen. Agentschap NL heeft daarin de volgende beschrijving van 'CO<sub>2</sub>-neutraal' geformuleerd: "Het verdient de voorkeur om het begrip 'CO<sub>2</sub> -neutraal' voor de prestaties van een organisatie te gebruiken. Het begrip 'CO<sub>2</sub> -neutraal' is breder dan 'energie neutraal' en dekt onderwerpen als energiebesparing in gebouwen, CO<sub>2</sub> -reductie met betrekking tot mobiliteit, inzet van duurzame energie en CO<sub>2</sub> -compensatie."

[Agentschap NL, november 2010] Advies- en ingenieursbureau DHV heeft in 'Uitgerekend Nul' de volgende beschrijving van 'CO<sub>2</sub> -neutraal' geformuleerd: "Gebruik het begrip 'CO<sub>2</sub> -neutraal' voor de prestaties van een organisatie. Het begrip 'CO<sub>2</sub> -neutraal' is breder en dekt onderwerpen als energiebesparing in gebouwen, CO<sub>2</sub> -reductie met betrekking tot mobiliteit, inzet van duurzame energie en CO<sub>2</sub> -compensatie." [PeGO, oktober 2009]



Afbeelding 3.6: Gebouwgebonden, gebruikersgebonden, materiaalgebonden energiegebruik, mobiliteit, inzet van duurzame energie en CO<sub>2</sub> -compensatie

### Klimaatneutraal

Advies- en ingenieursbureau DHV heeft in 'Uitgerekend Nul' de volgende beschrijving van 'klimaatneutraal' geformuleerd: "Gebruik het begrip 'klimaatneutraal' bij voorkeur niet. Klimaat is veel breder dan alleen energie of CO<sub>2</sub>, dit raakt ook aan binnenmilieu en aan duurzaamheid in de breedte." [PeGO, oktober 2009]

## 3.2 Definiëring van het begrip 'energie neutraal'

In §3.1 zijn een aantal begrippen met betrekking tot 'energie neutraal' genoemd. De verschillende definities duiden op een verschillende interpretatie van het begrip. Daarom wordt meer duidelijkheid gecreëerd over de verschillende definities van het begrip 'energie neutraal'. De definitie van het begrip 'energie neutraal' kan duidelijk worden gemaakt door een aantal richtlijnen te omschrijven. Agentschap NL heeft in 'Energie neutraal Bouwen, hoe doe je dat' vijf richtlijnen opgesteld om een definitie te formuleren. In de komende paragraaf worden de richtlijnen nader toegelicht. [Agentschap NL, oktober 2010]

### Energiegebruik over een jaar $\leq$ nul

Er wordt over een jaar gezien minimaal evenveel (of meer) energie teruggeleverd als er gebruikt wordt. Het energiegebruik moet over een jaar gemeten worden, om zo alle verschillende weersomstandigheden door een jaar heen in het energiegebruik te middelen.

### Gebruik duurzame energie

Duurzame energiebronnen zijn onder andere windkracht, waterkracht, zonlicht, biomassa en aardwarmte. De duurzame energie bronnen worden gebruikt voor het opwekken van duurzame energie. De opwekking van duurzame energie kan door bijvoorbeeld; zonnecellen, windturbine, warmte / koude opslag of biomassa warmtekrachtinstallaties zijn. De duurzaam opgewekte energie wordt gebruikt door het gebouw- en de gebruikersgebonden energiegebruik. De energie die op het moment van opwekken niet gebruikt kan worden, wordt teruggeleverd aan het openbare energienet. De hoeveelheid opgewekte duurzame energie moet over een jaar gemeten, gelijk of groter zijn dan de gebruikte energie uit het elektriciteitsnet.

### Geef grenzen aan

Door het definiëren van de grenzen, wordt aangegeven tot welk niveau de energie duurzaam opgewekt kan worden. De grenzen geven ook aan waarbinnen het gebouw 'energieneutraal' moet zijn. Bij de definitie moet onderscheid gemaakt worden tussen de projectgrens (de fysieke grens van het bouwproject) en de systeemgrens waarbinnen de duurzame energieopwekking mag plaatsvinden. Het opwekken van duurzame energie kan op de eigen kavel, wijk of stadsniveau. De volgende stap om de grens te verleggen kan op Nederlands of wereldwijd niveau. Het verleggen van de grens kan bijvoorbeeld door windturbines in de Noordzee te plaatsen of de compensatie van CO<sub>2</sub> doormiddel van bosaanplanting.



Afbeelding 3.7: Mogelijke grenzen van aanbod van duurzame energie(Bron) Uitgerekend Nul, April 2010)

### Energievraag

Van de totale energievrage van een woning kan onderscheid gemaakt worden in gebouwgebonden, gebruikersgebonden of materiaalgebonden energiegebruik. Het gebouwgebonden energiegebruik bestaat uit de verwarming, koeling, warmtapwater en ventilatie. Energie voor het gebruik van huishoudelijke apparaten zoals computers, opladers, strijkijzer, koelkast en andere apparatuur en verlichting die in en rond het huis gebruikt worden, is het gebruikersgebonden energiegebruik. Het materiaalgebonden energiegebruik is de energie die nodig is voor winning, productie, transport en afvalverwerking van de materialen voor de constructie van de woning.

### Energieneutraal gebouw / CO<sub>2</sub>-neutrale organisatie

Het begrip 'CO<sub>2</sub>-neutraal' is voor de prestatie van een organisatie te gebruiken. Het begrip 'CO<sub>2</sub>-neutraal' is breder dan 'energieneutraal'. Onder het begrip 'CO<sub>2</sub>-neutraal' wordt de energiebesparing in het gebouw, inzet van duurzame energie, mobiliteit en CO<sub>2</sub>-compensatie verstaan.



Afbeelding 3.8: Energieneutraal gebouw en CO<sub>2</sub> neutrale organisatie (bron) Uitgerekend Nul, April 2010



### 3.3 Conclusie

Door een definitie vast te stellen voor 'energieneutraal' is het duidelijk wat er allemaal wel of niet moeten worden berekend om een energieneutrale woning te realiseren. Er is een toetskader geformuleerd om te bepalen in hoeverre de praktijk overeen komt met de definitie die in dit onderzoek is geformuleerd voor 'energieneutraal'. De warmtevraag van een energieneutrale woning moet beperkt worden tot maximaal 15 kWh/m<sup>2</sup> (passiefhuisniveau). De totale energievraag van de woning moet geminimaliseerd worden door zoveel mogelijk bewoners onafhankelijke maatregelen toe te passen. Bij het minimaliseren van de warmtevraag moet de woonkwaliteit centraal staan bij het ontwerpen van een woning. Een energieneutrale woning mag over een jaar gemeten, niet meer dan nul kilowattuur energie gebruiken. Het energiegebruik voor elektriciteit, gas en biomassa wordt omgerekend naar primaire energievraag om het energiegebruik bij elkaar op te kunnen tellen. De energieopbrengst wordt in dit geval ook omgerekend naar primaire energie. Het primaire energiegebruik moet gelijk zijn aan de primaire energieopbrengst over een jaar gemeten. De elektriciteit voor een energieneutrale woning wordt opgewekt uit duurzame energie: windkracht, zonlicht, aardwarmte of omgevingswarmte. Dat betekent dat de geleverde elektriciteit vanuit het elektriciteitsnet, groene stroom moet zijn. Biomassa mag alleen worden toegepast als dit duurzaam geproduceerd wordt (herplanting). De duurzame energie voor een energieneutrale woning moet lokaal worden opgewekt. Een energieneutrale woning voldoet aan de definitie 'energieneutraal' als zowel het gebouwgebonden als het gebruikersgebonden energiegebruiken lokaal en duurzaam worden opgewekt, tijdens de gebruiksfase. Dit houdt in dat de energie opgewekt kan worden op het perceel of met meerdere woningen samen. Bij een energieneutrale woning is in de gebruiksfase het energiegebruik gebaseerd op gebouwgebonden en het gebruikersgebonden energiegebruik. Er ontbreekt een algemeen geaccepteerde methodiek voor de bepaling van de hoeveelheid energie die gebruikt wordt voor het materiaalgebonden energiegebruik, uitgedrukt in Megajoules (MJ) of kilowattuur (kWh). Daarom wordt de materiaalgebonden energie niet meegenomen in de energievraag. In de toekomst zal het materiaalgebonden energiegebruik echter steeds belangrijker worden. Het materiaalgebonden energiegebruik zal een groter deel van de totale energievraag zal gaan uitmaken naarmate het gebouwgebonden en gebruikersgebonden energiegebruik in de gebruiksfase minder zijn. De eenheid waarin de energieopbouw berekend wordt is omgerekende kilowattuur (kWh) primaire energievraag. Het begrip 'CO<sub>2</sub>-neutraal' wordt verder niet in dit onderzoek gebruikt, alleen 'energieneutraal' zal gebruikt worden. Het begrip 'CO<sub>2</sub>-neutraal' gaat veel verder dan alleen het energiegebruik van het gebouw. De CO<sub>2</sub>-uitstoot wordt voornamelijk veroorzaakt bij het winnen van elektriciteit en transport van personen en materialen.



## 4 Strategie 'energieneutraal' ontwerpen

Voor het ontwerp van een woning kan er gebruikt worden gemaakt van verschillende ontwerpstrategieën. Maar welke ontwerpstrategie sluit aan bij het ontwerpen van een energieneutrale woning? Voor het ontwerp van een woning is er onderzoek gedaan naar de Trias Energetica / Nieuwe Stappenstrategie en de Kyoto Piramide. Op basis van een ontwerpstrategie worden de maatregelen bepaald om een energieneutrale woning te realiseren. In §4.1 is de Kyoto Piramide uitgewerkt. De Trias Energetica / Nieuwe Stappenstrategie is toegelicht in §4.2. De conclusie voor de strategie 'energieneutraal' ontwerpen is omschreven in §4.3.

### 4.1 Kyoto Piramide

De Kyoto Piramide is een ontwerpstrategie die wordt toegepast bij het ontwerpen van een passiefhuis. De Kyoto Piramide is in 2005 ontwikkeld door Husbanken, in samenwerking met SINTEF en de Noorse Building Research Institute. Husbanken [Husbanken, november 2011] is een overheidsinstelling in Noorwegen die zorgt voor Volkshuisvesting en de woningwet. SINTEF [Sintef, november 2011] is de grootste onafhankelijke onderzoeksorganisatie van Scandinavië. Sintef creëert waarden doormiddel van kennis, onderzoek en innovatie en ontwikkelt oplossingen en technologieën.

De Kyoto Piramide is een ontwerpstrategie die bestaat uit vijf stappen. Het doel van de Kyoto Piramide is een energiezuinige, gebruiksvriendelijke woning te realiseren.

De volgende stappen vormen samen de Kyoto Piramide:

Stap 1: Beperk de warmtevraag. De warmtevraag kan worden verminderd door: een compact ontwerp, isolatie, ramen en deuren met een hoge isolatiewaarde, luchtdicht bouwen, gebalanceerde ventilatie.

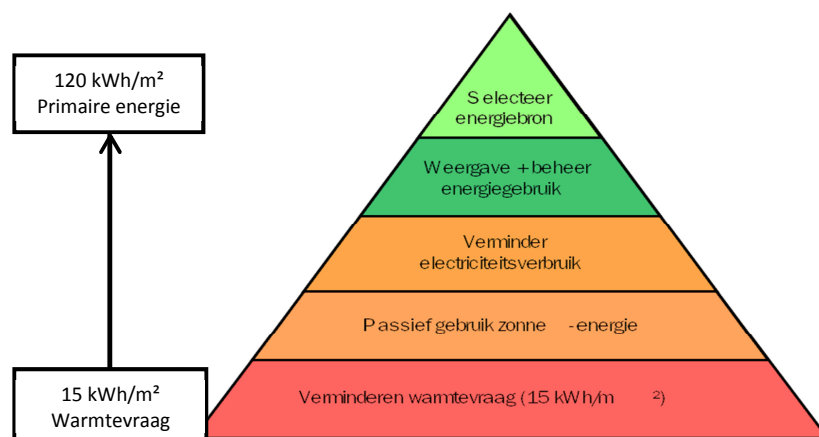
Stap 2: Maak gebruik van passieve zonne-energie. Dit kan door gebruik te maken van: optimale oriëntatie, daglichtopeningen, belemmeringen positioneren.

Stap 3: Verminder elektriciteitsgebruik door zoveel mogelijk energiezuinige apparaten te gebruiken.

Stap 4: Zorg voor een overzicht met een weergave + beheer van het energiegebruik. Door weergaven van het energiegebruik wordt een terugkoppeling gegeven op het energiegebruik.

Stap 5: Selecteer een energiebron die zo efficiënt mogelijk wordt gebruikt.

[Intelligent Energy Europe, november 2011]



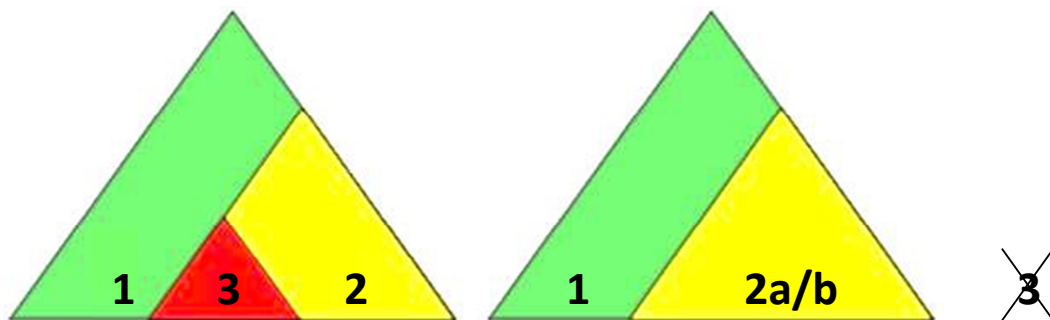
Afbeelding 4.1: Kyoto Piramide  
Bron: Passiefhuizen in Nederland

## 4.2 Trias Energetica / Nieuwe stappenstrategie

De Technische Universiteit Delft heeft een ontwerpstrategie ontwikkeld voor het duurzaam ontwerpen van een energiezuinige woning. De ontwerpstrategie is de genaamd de 'Trias Energetica'. Eind jaren '80 is de Trias Energetica opgesteld door C. Duijvestein van de TU Delft. De Trias Energetica bestaat uit de volgende drie stappen:

[Hameetman / Haas / Aa, december 2006]

1. Terugdringen van de warmte- / koudebehoefte
2. Toepassen van duurzame energietechnieken
3. Toepassen van efficiënte technieken om in de resterende warmte- / koudebehoefte te voorzien.

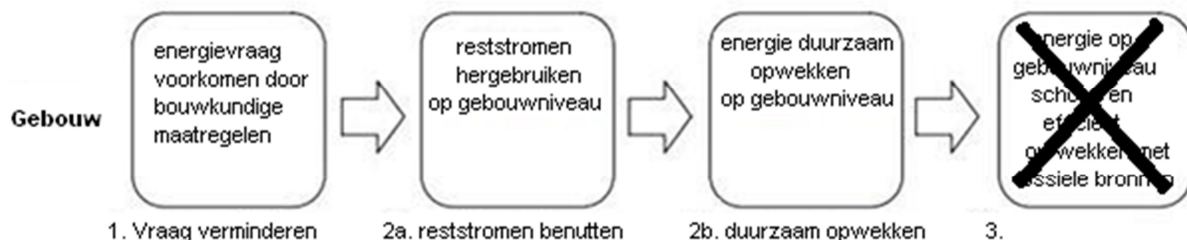


Afbeelding 4.2: Trias Energetica naar de Nieuwe Stappenstrategie

Trias Energetica sluit het gebruik van fossiele bronnen niet uit. In de zogenoemde Nieuwe Stappenstrategie wordt het gebruik van fossiele bronnen niet meer toegepast. De Nieuwe Stappenstrategie is opgesteld door Prof.dr.ir. Andy van den Dobbelsteen.

In de Nieuwe Stappenstrategie is een nieuwe stap tussengevoegd. De stap bestaat uit het benutten van reststromen. De Nieuwe Stappenstrategie bestaat uit de volgende stappen: [Dobbelsteen, mei 2008] / [Dobbelsteen, april 2009]

1. Verminder de energievraag door (steden)bouwkundige, passieve maatregelen die geen hulpenergie vragen.
- 2a. Gebruik energie uit interne of externe reststromen.
- 2b. Gebruik voor de overblijvende energievraag zoveel mogelijk duurzame energiebronnen.
3. Vermijd eindige (fossiele) energiebronnen; indien gebruik hiervan onvermijdelijk is, gebruik ze dan zeer efficiënt en compenseer dit op jaarbasis met 100% duurzame energie.



Afbeelding 4.3: de Nieuwe Stappenstrategie  
(bron) Rotterdam Energy Approach and Planning (REAP)

### 4.3 Conclusie

Voor het ontwerpen van een energieneutrale woning zijn twee ontwerpstrategieën onderzocht. De twee ontwerpstrategieën hebben allebei tot doel een energiezuinige woning te ontwerpen.

In de Kyoto Piramide is de stap voor het gebruik van passieve zonne-energie en het verminderen van energiegebruik opgenomen. Hoe minder energiegebruik er is, des te minder energieopwekking er nodig om aan de eis voor 'energieneutraal' te voldoen.

In de Nieuwe stappenstrategie wordt de stap van energievraag voorkomen beschreven, deze stap komt overeen met de stappen: passieve zonne-energie en het verminderen van het energiegebruik uit de Kyoto Piramide. De stap in de Kyoto Piramide voor de weergave en beheer van energie is geen onderdeel van de Nieuwe stappenstrategie. De keuze voor de stap 'weergave en beheer' is nodig bij het controleren en sturen op het functioneren van de installaties in een energieneutrale woning. Daarom sluit de Kyoto Piramide het beter aan bij het realiseren van energieneutrale woningen.

In de Kyoto Piramide moet de stap 'selecteer onuitputbare energiebron' vervangen worden door 'opwekken duurzame energie'. Door de stap te vervangen sluit de ontwerpstrategie aan bij het realiseren van energieneutrale woningen.



## 5 Energie bepalingsmethodes

Het ontwerpen van een energieneutrale woning wordt gedaan aan de hand van een ontwerpstrategie. Om te toetsen of een ontwerp voldoet aan de gestelde eisen moet er gebruik worden gemaakt van een bepalingsmethode. In dit hoofdstuk worden de twee veelvoorkomende bepalingsmethodes behandeld. De twee bepalingsmethodes zijn de EPW (energieprestatienorm van woonfuncties en woongebouwen) en de PHPP (Passivhaus Projektierungs Paket). De EPW berekening is behandeld in §5.1. De PHPP berekening is omschreven in §5.2. Bij de energie bepalingsmethodes wordt ingegaan op het ontstaan, de opbouw en de betekenis van de uitkomst van de rekenprogramma's. In §5.3 zijn de energie bepalingsmethodes met elkaar vergeleken en de conclusie omschreven welke bepalingsmethode aansluit bij het toetsen van een energieneutrale woning.

### 5.1 EPW

#### Algemeen

In het Bouwbesluit wordt een norm voorgeschreven voor de energieprestatie van nieuwbouw woningen. In de energieprestatienorm van woonfuncties en woongebouwen (EPW) staat vermeld hoe de energie-efficiëntie van een nieuwe woning in één getal kan worden uitgedrukt. Het resultaat van de berekening volgens de EPW is de energieprestatiecoëfficiënt (EPC). De EPW berekening geeft globaal weer hoe energiezuinig een gebouw is. Hoe lager de EPC, hoe zuiniger het gebouw. In NEN 5128 staat de bepalingsmethode voor de EPW beschreven en in het rekenprogramma NPR 5129. [Agentschap NL Energie en Klimaat, juni 2010] De nieuwe energieprestatienorm NEN 7120 bevat bepalingsmethoden voor woningen en utiliteitsbouw voor zowel nieuwbouw als bestaande bouw. NEN 7120 gaat per 1 juli 2012 van kracht.

#### Opbouw

De EPW berekening is opgesplitst in twee onderdelen. Het eerste deel bestaat uit de kenmerken van de bouwkundige eigenschappen van de gebouwen en het tweede deel bestaat uit de installatietechnische eigenschappen. De twee onderdelen samen vormen het totale karakteristieke energiegebruik in Megajoule (MJ) [NEN 5128, 2004] Volgens de onderstaande formule wordt het karakteristieke energiegebruik omgerekend naar een EPC waarde.

$$EPC = \frac{Q_{\text{pres,tot}}}{330 \cdot A_{\text{g;woon}} + 65 \cdot A_{\text{verlies}}} \times \frac{1}{C_{\text{epc}}}$$

- EPC = De energie-prestatiecoëfficiënt van de woonfunctie of het woongebouw
- $Q_{\text{pres,tot}}$  = Het karakteristieke energiegebruik in MJ;
- $A_{\text{g;woon}}$  = De gebruiksoppervlakte van de verwarmde zones van de woonfunctie of het woongebouw in m<sup>2</sup>;
- $A_{\text{verlies}}$  = De totale verliesoppervlakte van de woonfunctie of het woongebouw in m<sup>2</sup>;
- $C_{\text{epc}}$  = de correctie ten opzicht van de vorige versie van NEN 5128:1998

#### Uitkomst

Met de EPW berekening kan het karakteristieke energiegebruik in Megajoule (MJ) worden weergegeven. Het karakteristieke energiegebruik van de EPW berekening kan sterk afwijken van het werkelijke energiegebruik. Dit omdat de EPW berekening is geen ontwerpinstrument is maar een

toetsinstrument aan de gestelde EPC eis. De EPW berekening maakt gebruik van een aantal norm waarden om het rendement van de installaties vast te stellen.

Het karakteristiek primair energiegebruik is opgebouwd uit de volgende energieposten:

- Verwarming;
- Hulpenergie verwarming;
- Warmtapwater;
- Ventilatoren;
- Verlichting;
- Zomercomfort en koeling;
- Bevochtiging;
- Vermindering primair energiegebruik (door fotovoltaïsche (PV) zonne-energiesystemen).

## 5.2 PHPP

### Algemeen

De PHPP (Passivhaus Projektierungs Paket) bepalingsmethode is ontwikkeld in Duitsland door Passivhaus Institut (PHI, Duitsland). De PHPP berekening is gebaseerd op de Europese Norm EN832 voor de bepaling van energieprestatie van gebouwen. De PHPP berekening is ontwikkeld om in de ontwerpfase inzicht te krijgen in de energiezuinigheid van het gebouw.

De PHPP berekening is ontwikkeld in Duitsland waar het al vele jaren gebruikt wordt als hét ontwerpinstrument van de Duitse passiefhuis projecten. Met de PHPP berekening kan worden aangetoond dat een passiefhuis wel of niet voldoet aan het passiefhuis niveau, door het berekenen van de warmtevraag en het energiegebruik. Een passiefhuis is een specifieke bouwstandaard voor woningen met een comfortabel binnenklimaat, gedurende het zomer- als het winterseizoen, met een beperkt verwarmingssysteem en zonder de toepassing van actieve koeling.

### Opbouw

De PHPP berekening gaat uitsluitend uit van fysische parameters met gedetailleerde invoer en de specifieke uitgebreide resultaten. De interactie tussen componenten maakt het noodzakelijk om een integrale benadering te gebruiken om zo de passiefhuis standaard te halen. In de PHPP berekening zijn alle berekeningen gebaseerd op gekoppelde gegevens. De warmtevraag is opgebouwd uit de warmtebalans tussen warmteverliezen en warmtewinsten:

#### Warmteverliezen

- Transmissie verliezen
- Koudebruggen (aansluiting raam-gevel, keldervloer-buitengevel, balkon)
- Ventilatieverliezen

#### Warmtewinst

- Zonnestraling
- Interne bronnen (Het totaal van alle warmte die gegenereerd wordt door mensen en huishoudapparatuur tijdens de verwarmingsperiode)
- Benuttingsfactor warmtewinst (Het percentage vrije warmte dat kan worden gebruikt voor ruimteverwarming.)

De specifieke primaire energievraag is de som van alle primaire energie vragen van de afzonderlijke systemen als verwarming, warm tapwater, hulpenergie en huishoudelijke apparaten. Oftewel de som van het totale energiegebruik binnen het gebouw. [Wolfgang Feist, november 2009]



## Uitkomst

De belangrijkste uitkomsten uit de bepalingsmethode PHPP zijn:

- Specifieke jaarlijkse warmtevraag (Passiefhuis eis  $\leq 15 \text{ kWh/m}^2$ );  
Voor de jaarlijkse warmtevraag kan een keuze gemaakt worden tussen de rekenmethodiek jaarmethode of jaandmethode. In de maandmethode is de warmte- en koelbehoefte nauwkeuriger te berekenen. Bovendien wordt hierdoor ook een meer betrouwbare voorspelling van het zomercomfort gedaan. [Israëls / Stofberg, 2010]
- Specifieke primaire energievraag (Passiefhuis eis  $\leq 120 \text{ kWh/m}^2$ );  
De specifieke primaire energievraag is de som van alle primaire energie vragen voor alle energievraag binnen het gebouw. De specifieke primaire energievraag beschrijft de hoeveelheid niet hernieuwbare primaire energie die nodig is voor de energie drager.
- Specifieke primaire energievraag, energiebesparing door zonne-energie;  
Indien er elektriciteit wordt opgewekt met PV-cellen, wordt dat als primaire energiebesparing meegenomen.
- Warmtebelasting;  
De maximale gebouw warmtebelasting is gebaseerd op de meest ongunstigste van twee dynamische gebouwsimulaties. Op een koude, maar zonnige en onbewolkte winterdag (hoge weersdruk), of op een gemiddelde koude, maar bewolkte dag met minimale zonnestraling.
- Frequentie van oververhitting;  
De mate van zomercomfort wordt gedefinieerd als het percentage uren dat de temperatuur boven het comfortlimiet komt. De standaard temperatuur die gebruikt wordt in de PHPP berekening is  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , maar het is mogelijk een andere temperatuur in te voeren. Hoe minder vaak de temperatuur boven de limiet komt, hoe hoger het zomer comfort is. Wanneer de frequentie van temperaturen boven de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  meer dan 10% is, zijn maatregelen noodzakelijk.
- Nuttige koelvraag / Koellast.  
De nuttige koellast van het gebouw, als er een actief koelsysteem wordt geïnstalleerd.

## 5.3 Conclusie

In de §5.1 en §5.2 zijn de EPW en de PHPP berekening inhoudelijk beschreven. In §5.3 zijn de programma's vergeleken op de verschillen tussen de twee programma's. Daaruit is een conclusie omschreven die beschrijft welke bepalingsmethode aansluit bij het ontwerpen / toetsen van een energieneutrale woning.

Uit dit onderzoek van ECN naar 'Passiefhuis en EPN' komen de volgende conclusies naar voren:

"Dat de energieprestatie van passiefhuizen in de EPN ten opzichte van het gevalideerde programma PHPP ondergewaardeerd wordt. Met name door de relatief hoge interne warmtelast in de EPN is de warmtevraag bij zowel de referentie woning (EPC=0,8) als bij de passiefhuis variant beduidend lager dan in PHPP. Dit zorgt er voor dat maatregelen gericht op reductie van de warmtevraag in de EPN weinig effect kunnen hebben." De lagere waardering voor passiefhuis maatregelen in de EPN, in vergelijking tot het gevalideerde PHPP rekenprogramma, heeft vooral zijn oorzaak in verschillen in:

- Aanname van de interne warmtelast ( $2,1 \text{ W/m}^2$  standaardaanname bij PHPP versus  $6,0 \text{ W/m}^2$  in EPN);
- Aanname voor de binnentemperatuur ( $T_i = 18 \text{ }^\circ\text{C}$  bij EPN of  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  in PHPP);
- Waardering van verbeterde isolatiewaarde (lager in EPN);
- Waardering van verbeterde luchtdichtheid (begrenzing voor zeer lage infiltratie in EPN);

- Waardering van reductie in hulpenergie installatietechnische maatregelen voor verwarming (lager in EPN).

[Boer / Jansen / Boonstra, augustus 2009]

De twee energie bepalingsmethodes hebben verschillende doelen. De EPW is er om te toetsen hoe energiezuinig de woning is gerelateerd aan vastgelegde waarden in het Bouwbesluit. De berekening wordt gemaakt met vastgestelde NEN normen en gelijkwaardigheidsverklaringen voor producten.

Het programma PHPP berekent aan de hand van fysische parameters een zo realistische mogelijke benadering van het toekomstige energiegebruik van het ontworpen gebouw.

Bij de EPW kan alleen het gebouwgebonden energiegebruik berekend worden, voor het gebruikersgebonden energiegebruik moet een schatting van het gebruikersgebonden energiegebruik en energieopwekking worden aangehouden om een energieneutrale woning te realiseren. Bij het programma PHPP kan het totale primaire energiegebruik worden berekend, maar hierin worden ook bepaalde aannames gedaan voor het gebruikersgebonden energiegebruik op basis van het aantal gebruikers en type apparaten in de woning. Hierbij blijft het een inschatting van de hoeveelheid en wat voor gebruikers er tijdens de levensduur van de woning in zullen wonen. Daarbij is ook sterk van invloed welke en hoe energiezuinig de huishoudelijke apparaten in de woning zijn.

Voor het berekenen van het gebouwgebonden energiegebruik (warmtebehoefte) sluit het programma PHPP goed aan, dit blijkt uit meer dan 300 meting van woningen in Duitsland.

[Wolfgang Feist, oktober 2007]

## 6 Energiegebruik

Het totale energiegebruik van een energieneutrale woning bestaat uit een gebouw- en gebruikersgebonden. In het hoofdstuk: Energiegebruik zijn de drie energiestromingen verdere toegelicht. In §6.2 is ingegaan op invloeden op het energiegebruik van een woning. In §6.3 is omschreven hoe door bijvoorbeeld met ruimtelijk ontwerp en bouwtechnische ingrepen gebouwgebonden energiegebruik kan worden beperkt. In §6.3 is het gebruikersgebonden energiegebruik omschreven. In §6.4 is verder ingegaan op mogelijke besparingen op het gebied van het energiegebruik. In §6.5 zijn de duurzame energieopbrengsten omschreven.

### 6.1 Algemene invloeden

#### Gebruiker

Het energiegebruik is het afhankelijk van de gebruiker. De gebruiker van de woning maakt gebruik van huishoudelijke apparaten en bepaalt de gewenste binnentemperatuur. De bewoner heeft invloed op het openen van ramen in de verwarmingsperiode. De gezinssamenstelling en de aanwezigheid van de gezinsleden hebben invloed op het energiegebruik.

#### Klimaat

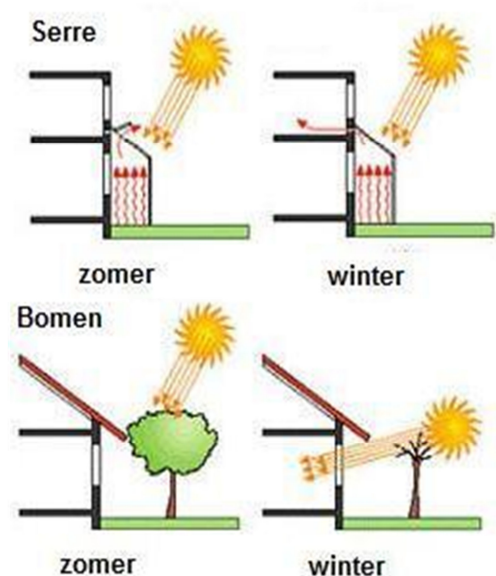
In de gebruiksfase van een woning heeft het klimaat invloed op het energiegebruik van een woning. Het klimaat bestaat onder andere uit de buitentemperatuur, zonnestraling en windsnelheid. Het verschil tussen een lagere buitentemperatuur en de binnentemperatuur bepaald het aantal graaddagen in een jaar. Het aantal graden van de buitentemperatuur onder de binnentemperatuur is gegeven in aantal graaddagen in het jaar. De graaddagen in combinatie met de warmteverstand van een woning bepaald het warmteverlies door de gebouwschil.

Voor de energieopbrengst heeft het klimaat invloed. De windsnelheid heeft bijvoorbeeld invloed op de energieopbrengst van de windturbine. Daarnaast heeft de zonnestraling invloed op de warmtewinst van de woning en energieopbrengst via de PV-panelen en zonnecollectoren.

### 6.2 Gebouwgebonden

#### Ruimtelijk ontwerp

Verschillende factoren kunnen invloed hebben op het gebouwgebonden energiegebruik. Door rekening te houden met oriëntatie richting het zuiden, kan de zonnewarmte in de stookperiode benut worden voor het opwarmen van de woning. De instraling van de zon wordt optimaal benut wanneer de daglichtopeningen naar het zuiden zijn georiënteerd. In de installatieruimte kan de temperatuur aanzienlijk oplopen door bijvoorbeeld installaties zoals het boiler vat voor opslag van warmwater. De indeling van het perceel kan een bijdrage hebben op de verwarming door zonnewarmte en beschaduwing van een woning. Voor de indeling van het perceel kunnen bomen in de zomerperiode een bijdrage leveren aan de beschaduwing van een woning. De bomen die in de zomerperiode fungeren als beschaduwing moeten in de winterperiode de zonnewarmte doorlaten om de woning te verwarmen. Als een woning wordt



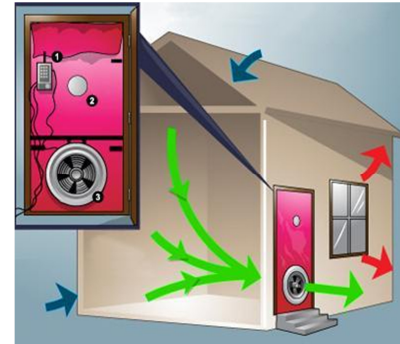
Afbeelding 6.1: Invloed zon per periode  
(bron) [www.duurzaamthuis.nl](http://www.duurzaamthuis.nl)

voorzien van een hellend dak kan in de ontwerpfase rekening worden gehouden met de oriëntatie van het dak waarop de PV-panelen worden gemonteerd. [Israëls / Stofberg, 2010]

### Bouwkwaliteit

De bouwkwaliteit heeft invloed op het realiseren van de vooraf gestelde eisen. Tijdens de realisatie van een woning moet voldoende aandacht worden besteed aan de bouwkwaliteit.

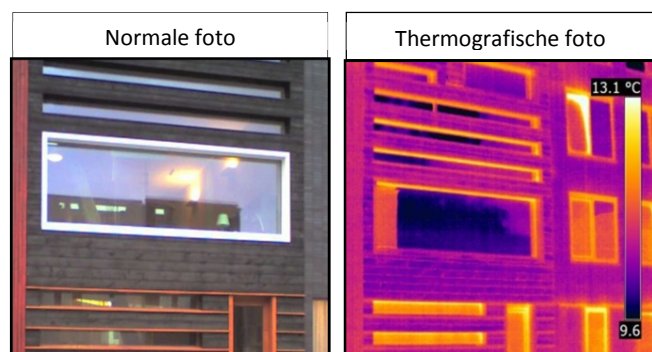
De eisen voor de bouwkwaliteit van een woning worden bepaald in de ontwerpfase. In de ontwerpfase worden eisen gesteld aan isolatiewaarden van de gebouwschil, isolatiewaarden voor de kozijnen, plaatsen van overstek en zonwering, zontoetredingsfactor (ZTA) en de lichttoetredingsfactor (LTA) van het glas. De isolatie van de gebouwschil bepaalt het warmteverlies van de scheidingsconstructie tussen het gebouw en de buitenomgeving, maar ook tussen de bodem en de



Afbeelding 6.2: Principe blowdoortest  
(bron) [www.schwoerer.nl](http://www.schwoerer.nl)

aangrenzende onverwarmde ruimten. Hoe hoger de warmteweerstand van de gebouwschil, hoe minder warmteverlies er op treedt. In de gebouwschil kunnen op verschillende plaatsen naden en kieren ontstaan. Het onbewust ventileren door naden en kieren wordt infiltratie genoemd. Bij een woning die luchtdicht is uitgevoerd is het warmteverlies via infiltratie beperkt. Voor oplevering kan de luchtdichtheid van een woning worden gecontroleerd met behulp van een blowerdoortest. Het principe van een blowdoortest is weergegeven op afbeelding 6.2. Een koudebrug in de gebouwschil kan met een warmtebeeldcamera geconstateerd worden. Een koudebrug is een aansluiting in een constructie waarbij onderbreking tussen de isolatie zit, waardoor de warmte gemakkelijk van binnen naar buitenkant van de constructie wordt geleid. Op de afbeelding 6.3 is het principe van een warmtebeeldcamera weergegeven. Hoe geler de kleur hoe hoger de temperatuur. In de ontwerpfase moet er bij detailleren rekening worden gehouden met onderbrekingen in de gebouwschil. Een woning met grote daglichtopeningen moet worden voorzien van zonwering om de hoogstaande zomerzon te weren. De zomerzon moet worden geweerd om oververhitting te voorkomen. De hoogstaande zomerzon kan door de lamellen worden tegengehouden en de laagstaande winterzon kan tussen de lamellen door. In het ontwerp van de woning moet rekening worden gehouden met een manier voor zomernachtventilatie.

Voor zomernachtventilatie kan gedacht worden aan automatische dakramen op de verdieping en te openen ramen op de begane grond.



Afbeelding 6.3: Principe warmtebeeldcamera  
(bron) Nieman R.I.

### Ventilatie

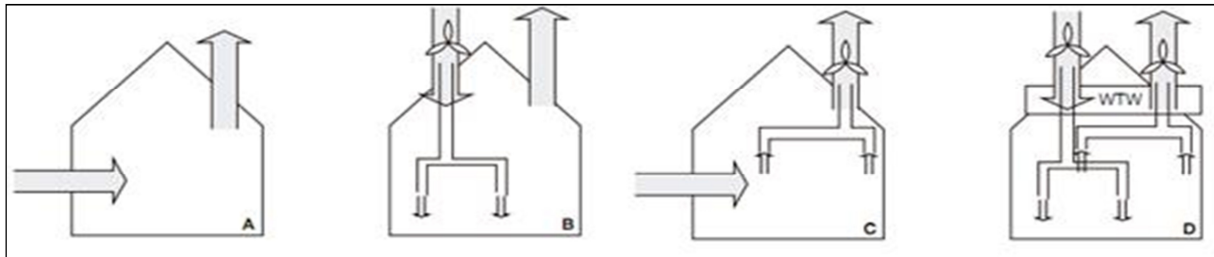
Een woning moet worden geventileerd om een gezonde binnensituatie te creëren. Ventileren is verse lucht toe te voeren en vervuilde lucht, die schadelijke stoffen, geuren en vocht bevat, af te voeren. Het ventileren van een woning kan in vijf verschillende varianten.

De verschillende ventilatie varianten zijn:

- Natuurlijke toe- en afvoer;
- Mechanische toevoer en natuurlijke afvoer;

- c. Natuurlijke toevoer en mechanische afvoer;
- d. Mechanisch toe- en afvoer (gebalanceerde ventilatie);
- e. Hybride ventilatie (ventilatie alleen wanneer nodig).

Door het ventileren wordt er warme lucht vanuit de woning naar buiten afgevoerd. Bij een gebalanceerd ventilatiesysteem wordt met de warmte van de afgezogen lucht de koude verse lucht voorverwarmd. Het rendement van de gebalanceerde ventilatie, is het percentage van de totale afgevoerde warme lucht dat overgebracht wordt op de koude schone lucht. [Israëls / Stofberg, 2010]



Afbeelding 6.4: Schematische weergave ventilatie  
(bron) <http://www.rivm.nl>

### Ruimteverwarming

Een ruimteverwarmingssysteem bestaat uit een verwarmingsbron, distributie en een afgiftesysteem. Een woning kan op verschillende manieren worden verwarmd. Voorbeelden van een verwarmingsbron van ruimteverwarming zijn de warmtepomp, pelletkachel en gasketel.

Voor het afgiftesysteem is het mogelijk de ruimte te verwarmen doormiddel van ventilatielucht, radiatoren, vloer- en wandverwarming. Elk verwarmingssysteem dat in een woning wordt toegepast, heeft een bepaald systeemrendement. Het rendement kan worden aangegeven in een percentage of in een COP-waarde. Het rendement is een getal die een verhouding aangeeft tussen de gebruikte energie en de verkregen bruikbare energie voor warming of koeling. [Israëls / Stofberg, 2010]

### Koeling

De mate van zomercomfort is gedefinieerd als een frequentie van temperatuuroverschrijding boven een bepaalde waarde. De PHPP berekening hanteert een bovengrens van 25°C. Indien meer dan 10% van alle uren in een jaar deze temperatuur wordt overschreden, wordt gesproken van temperatuuroverschrijding. Dan is het wenselijk om in de woning gebruik te maken van installaties om te koelen. De koelinstallaties vragen vaak veel elektrische energie. Daarom is het belangrijk dat de actieve koelvraag voorkomen word. Om de actieve koeling te voorkomen kan er gebruik worden gemaakt van verschillende mogelijkheden. Voorbeelden om de koelvraag te beperken zijn:

- Voldoende spuivoorziening, bijvoorbeeld het open van ramen voor het door tochten van de woning;
- Zonwerend glas: glas waarmee zonnwarmte effectief geweerd wordt en licht wel wordt doorgelaten;
- Buitenzonwering om zoninstraling te voorkomen;
- Nachtventilatie: de koele nachtlucht wordt gebruikt om het gebouw af te koelen;
- Het koelen van de toevoerlucht bij het ventilatiesysteem, door bijvoorbeeld een grondbuis.

In de extreme gevallen moet er gebruik worden gemaakt van elektrische koelinstallatie. Bij het aanschaffen van een elektrische koelinstallatie moet dan gelet worden het energiegebruik en de warmteafgifte van een huishoudelijk apparaat.

### **Warm tapwater**

Warmtapwater wordt meestal alleen gebruikt in de keuken en de badkamer.

In de keuken en badkamer wordt warmtapwater gebruikt voor douchen, baden, wassen, afwassen, etc. Het energiegebruik voor warmtapwater is afhankelijk van de volgende aspecten:

- Toestelrendement van het warmte leverende apparaat;
- De afstanden tussen het opwekkingstoestel en de warmwater tappunten (leidinglengten);
- De aanwezigheid van een voorraadvat;
- De aard van de tappingsen, rekening houden met leidinglengtes;
- Vereiste hoge temperatuurvraag van het warm tapwater.

[Braber / Geelen / Manussen, februari 2011]

### **Hulpenergie**

Het gebouwgebonden energiegebruik, bestaat uit het deel energiegebruik dat door installaties wordt gebruikt. Voor mechanische ventilatie moet gebruik worden gemaakt van elektriciteit voor de werking van ventilatoren. De verwarming heeft een pomp dat water in het leidingstelsel rondpompt. Deze pomp wordt aangedreven door elektriciteit. Veel installaties voor ventilatie, verwarming, warmtapwater hebben een aansluiting op het elektriciteitsnet. De energie die wordt gebruikt door de genoemde installaties noemt men hulpenergie.

## **6.3 Gebruikersgebonden**

### **Huishoudelijke apparaten & verlichting**

De samenstelling van het gebruikersgebonden energiegebruik bestaat uit huishoudelijke apparaten en verlichting. Elk huishouden heeft standaard huishoudelijke apparaten die een invloed hebben op het totale energiegebruik. Voorbeelden van standaard huishoudelijke apparaten zijn: kooktoestel, wasmachine, koelkast / vriezer en computer. De overige huishoudelijke apparaten bestaan uit consumentenelektronica en kleine apparatuur. Voorbeelden van consumentenelektronica en kleine apparatuur zijn: opladers, waterkoker, koffiezetapparaat, mixer, wekker en bureaulamp. Tegenwoordig hebben alle grote huishoudelijke apparaten een energielabel.

Voor verlichting is het aantal lampen en het type van belang. De gloeilamp mag vanaf 1 september 2012 niet meer worden verkocht in de winkels in heel Europa. De nieuwe verlichting bestaat uit een LED, Halogeen of een spaarlamp. [Rijksoverheid,2012]

## **6.4 Energiebesparingen**

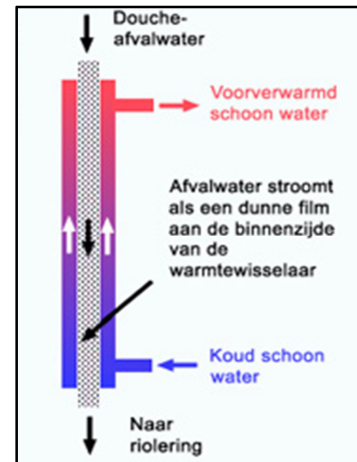
In de paragraaf energiebesparingen is ingegaan op de mogelijk besparingsmaatregelen die in een woning toepast kunnen worden. De hotfill, douchewater warmteterugwinning en zoncollectoren zijn besparingen, die installatietechnisch en bouwkundige aanpassingen vragen. Daarnaast zijn er ook huishoudelijke besparingen die eenvoudiger toegepast kunnen worden.

### **Hotfill**

Een hotfill kan een energiebesparing opleveren op het totale energiegebruik. Dit als het warmtapwater energie efficiënter (warmtepomp, zonnecollectoren) is opgewekt, dan de (vaat) wasmachine die het koude water met elektriciteit verwarmt. De hotfill wordt geplaatst op de watertoevoer van de (vaat)wasmachine. De hotfill moet worden voorzien van een koud- en warmwateraanvoer, om de juiste water aanvoertemperatuur voor het apparaat te kunnen regelen. De hotfill is voorzien van een bedieningspaneel waarop de gewenste aanvoertemperatuur kan worden ingesteld.

### Douchewater warmteterugwinning

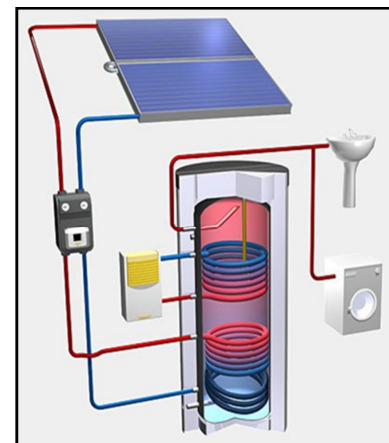
Bij warmteterugwinning uit afvalwater van de douche vindt in een warmtewisselaar voorverwarming van koud water plaats alvorens dit water wordt toegevoerd naar het warmtapwatertoestel en de koude poort van de (thermostatische) douchemengkraan. Een uitvoering is de wisselaar die bestaat uit een verticale dubbele, concentrische buis. Het warme afvalwater stroomt door de binnenste buis omlaag en staat hierbij zijn warmte af aan het koude water dat tussen binnen- en buitenbuis omhoog stroomt. Het afvalwater en drinkwater worden gescheiden door slechts een enkele wand. De spreiding van temperatuur van koude water is vrij groot, namelijk van 5 tot 20 °C. Door deze spreiding verschilt het voorverwarmde water aan de uitlaat van de warmtewisselaar tussen de 15 en 25 °C. Op afbeelding 6.5 is het principe van de douchewater-WTW weergegeven.



Afbeelding 6.5: Principe Douchewater-WTW  
(bron) [www.bries.nl](http://www.bries.nl)

### Zonnecollectoren

Een zonnecollector zet de energie van de zoninstraling om in warmte. De zonnecollectoren worden gebruikt voor het verwarmen van het warmwater. De vlakke plaat werd de laatste jaren het meeste toegepast. Op afbeelding 6.6 is het principe weergegeven van de vlakke plaat in combinatie met een warmtepomp. De vlakke plaat heeft een rechthoekig frame. In het frame zit een zwart metalen absorbeerplaat. De zoninstraling wordt omgezet in warmte. De onderzijde van de vlakke plaat is geïsoleerd. Onder de zwarte metalen absorbeerplaat liggen leidingen met water. Het water wordt koud aangevoerd. En wordt door de zoninstraling verwarmd. Het voorverwarmde water wordt gebruikt of opgeslagen in een boiler. Een naverwarmer zorgt ervoor dat de temperatuur van het warmwater op temperatuur blijft wanneer de zonnecollector dit niet kan verzorgen. Aandachtspunten voor plaatsing van de zonnecollectoren zijn:



Afbeelding 6.6: Vlakke plaat  
(bron) [www.groeneenergie-info.nl](http://www.groeneenergie-info.nl)

- De collector moet een goede oriëntatie en hellingshoek hebben (Zuid / Oost-Zuid / West);
- De afstand tussen opslagvat en collector mag niet te groot zijn;
- Gebruik een naverwarmer met het NZ-label (naverwarming zonneboiler);
- Daar waarvan de maximum temperatuur van het warmtapwater in het boilervat seizoens afhankelijk is (kan in de winter onder 60 °C liggen), is een risicoanalyse op legionella gewenst.



Afbeelding 6.7: [Vacuümbuiscollectoren](http://www.wielevert.nl)  
(bron) <http://www.wielevert.nl>

Nieuwe op de markt zijn de vacuümbuiscollectoren. De efficiëntie van een vacuümbuiscollector wordt hoger verwacht dan een vlakke plaat. De vacuümbuiscollector bestaat uit een dubbel wand vacuüm gezogen buis met daarin een heat pipe. De zonnestralen worden opgevangen door de coating op de heat-pipe. De dubbelwandige vacuümbuis zorgt er voor dat er minder warmte verloren gaat. [Uneto-Vni, 2011]

### Huishoudelijke besparingen

De bewoner kan energie besparen door het aanschaffen van energiezuinige huishoudelijke apparatuur (A energielabel). Andere energiebesparingen op huishoudelijk apparatuur, is het toepassen van Standby-killer of tijdschakelaar. De bewoner kan besparen op het koud- en warmtapwater gebruik, door bijvoorbeeld gebruik te maken van een waterbesparende douchekop, perlator en spoelonderbreker. De perlator zoals weergegeven op afbeelding 6.8 moet worden bevestigd aan de waterkraan.



Afbeelding 6.8: Perlator  
(bron) [www.totaalduurzaam.nl](http://www.totaalduurzaam.nl)

## 6.5 Energieopbrengsten

### Windturbine

Voor de energieopbrengst van een windturbine zijn enkele factoren belangrijk. Bij een lage windsnelheid kan de windturbine geen elektriciteit produceren. Bij een te hoge windsnelheid wordt de windturbine uitgeschakeld om te voorkomen dat de kracht op de windturbine te groot wordt. De windsnelheid kan per gebied (open vlakte of stedelijk gebied) in Nederland verschillend zijn. Ook de hoogte van de windturbine heeft invloed op de energieopbrengst. [Energie technologie, 2010/1]

### PV-panelen

De afkorting PV is afkomstig uit het Engels Photo (=licht) en Voltaic (= elektriciteit). Het gehele PV-systeem bestaat uit omvormers, bekabeling, bouwkundige voorzieningen en de panelen. De PV-panelen zetten zoninstraling om in elektriciteit. De omvormers zorgen er in het traject voor dat elektriciteit wordt omgevormd van gelijkstroom (24 Volt) naar wisselstroom (230 Volt).

Voor de energieopbrengst van een PV-systeem kan de oriëntatie en de hellingshoek bepalend zijn. Een andere bepalende factor is beschaduwing. De beschaduwing door bijvoorbeeld gebouwen of bomen kan de energieopbrengst van een PV-systeem aanzienlijk verminderen.

Een PV-systeem wordt in de meeste gevallen serie geschakeld. Door de serie schakeling kan een beschaduwing invloed hebben op de totale energieopbrengst. De vernieuwde PV-systemen worden in de meeste gevallen parallel geschakeld waardoor de invloed van beschaduwing kleiner wordt. Een ander aspect is warmte dat invloed kan hebben op het uiteindelijke rendement van een PV-systeem. Er zijn PV-systemen die bij een temperatuur boven de 25 °C een lager rendement hebben.

De PV-panelen kunnen in een dakconstructie worden gemonteerd of op dakconstructie worden gemonteerd. Door de PV-panelen op de dakconstructie te monteren worden ze beter natuurlijk geventileerd. De factor veroudering kan invloed hebben op het uiteindelijke rendement van de PV-panelen. [Energie technologie, 2010/2]

## 6.6 Conclusie

Het totale energiegebruik van zowel gebouwgebonden als gebruikersgebonden energie, moet bij een energieneutrale woning zelf worden opgewekt. Algemene invloeden op het energiegebruik van een woning bestaan uit de gebruiker, klimaat en bouwkwaliteit. Voor gebouwgebonden energiegebruik zijn oriëntatie en de daglichtopeningen belangrijk voor het benutten van zonnewarmte. De hoogstaande zomerzon moet geweerd worden door het aanbrengen van de zonwering om oververhitting te voorkomen. Van de bouwtechnische eigenschappen is de gebouwschil de bepalende factor voor het beperken van het warmteverlies. Warmteverlies treedt op in de gebouwschil door naden, kieren en koudebruggen. Het warmteverlies door ventilatie in een woning wordt beperkt door gebalanceerd ventileren met een warmteterugwinning. De warmtevraag voor warmtapwater kan worden geleverd door zonnecollectoren of vacuümbuiscollectoren. Het





gebruikersgebonden energie bestaat uit huishoudelijke apparaten en verlichting. De bewoner kan door het gebruik van energiezuinige huishoudelijke apparaten en verlichting om het energiegebruik te beperken. Alle besparende maatregelen zoals een hotfill en douchewater-WTW zorgen er voor dat de energievraag verminderd. Voor energieopbrengsten kan er gebruik worden gemaakt van een windturbine of PV-panelen. De energieopbrengst van PV-panelen is onder andere afhankelijk van de zonnestraling, hellingshoek, type, rendement, omvormer en de oriëntatie ten opzichte van het zuiden. De energieopbrengst van een windturbine is afhankelijk van de gemiddelde windsnelheid, type, hoogte en de plaats in Nederland.



## 7 Gerealiseerde woningen

### 7.1 Waarom deze woningen?

De gerealiseerde woningen zijn geselecteerd op hun energieambitie zoals een energiezuinige, energiebalans of energieneutrale woning. Enkele woningen hebben een site waarop de technische-, energiegebruik- en energieopbrengstgegevens van de woning worden weergegeven. Bijvoorbeeld: Ons passiefhuis Oijen, Energiebalanswoning Amersfoort, Passiefhuisnu Swalmen en de Energiezuinige woning in Oostende hebben wel een eigen site met informatie. Enkele zijn aangesloten met een Duitse passiefhuis site waarop alle bouw- en installatietechnische eigenschappen zijn omschreven. [Datenbank für Passivhaus Projekte, november 2012] De woningen zijn in willekeurige volgorde in dit hoofdstuk beschreven. Per woning is er aangegeven welke ontwerpstrategie, bepalingmethode en bouwmethode is gebruikt voor de woning. Naast de bouwmethode zijn de installaties voor ruimteverwarming, ventilatie, koeling en warmtapwater omschreven per woning. Per woning is er aangegeven hoe het energiegebruik en de energieopbrengst is gemonitord.

### 7.2 Oijen, Ons passiefhuis

De woning is geïnspireerd door 'Mijn passiefhuis' in Selfkant te Duitsland. De bewoner heeft een eigen blog waarop alle gegevens van de woning worden gedeeld met geïnteresseerde mensen. De woning is opgeleverd in 2009.

#### Bepalingmethode

De warmtebehoefte van de woning is berekend doormiddel van de PHPP berekening. De woning voldoet niet aan praktijkcertificaat passiefhuis volgens achteraf gemaakte berekeningen (16,5 kWh/m<sup>2</sup>). De isolatiewaarde van de muren en het dak voldoen niet aan de gestelde eisen. De lage isolatiewaarden voor de muren en het dak worden gecompenseerd door de hogere vloerisolatie en warmteterugwinningsrendement van het ventilatiesysteem. Om het passiefhuiscertificaat praktijk te verkrijgen moet aangetoond worden dat de uitgevoerde details voldoen aan de gestelde eisen voor de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt.

De lineaire warmtedoorgangscoefficiënt moet voor een passiefhuis kleiner zijn dan ( $[\psi]$  Psi-waarde < 0,01 [W/mK]). Het primaire energiegebruik is voor de woning in de ontwerpfase niet apart inzichtelijk gebracht. Er is een schatting gemaakt van 5.000 kWh door de bewoner.

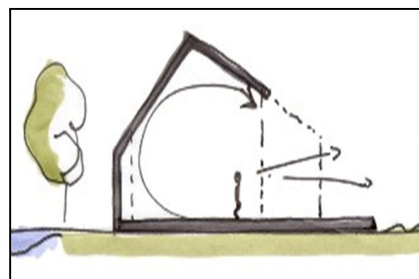


Afbeelding 7.2.1: Ons passiefhuis Oijen  
(bron) [www.onspassiefhuis.nl](http://www.onspassiefhuis.nl)

#### Bouw- en installatietechnisch

De woning bestaat uit een houtskeletbouw draagconstructie. Tijdens de ontwerpfase is op het perceel rekening gehouden met de oriëntatie richting het zuiden. De woning is aan de zuidzijde voorzien van grote daglichtopeningen. Voor de hoogstaande zomerzon is de woning voorzien van een overstek om oververhitting in de zomer te voorkomen. Aan de noordzijde van de woning zijn wel enkele glasoppervlakken gepositioneerd. De glasoppervlakken hebben een negatief effect op het energiegebruik volgens de bewoner. De woning wordt verwarmd door een pelletkachel. De pelletkachel wordt automatisch aangestuurd door de thermostaat.

De ventilatie in de woning wordt voorzien door een balansventilatiesysteem met bodemcollector. De bodemcollector en nachtventilatie worden in de zomer gebruikt als koeling. In de technische ruimte staat een boiler die op temperatuur wordt gehouden door de warmtepomp. Het warmtapwater wordt bijverwarmd doormiddel van de vacuümbuiscollectoren op het dak. De hellingshoek van het dak is ontworpen om een optimale hoek te hebben voor de PV-panelen en vacuümbuiscollectoren. De energieopbrengsten komen van de PV-panelen op het schuine dak. Voor de verlichting in de woning is alleen maar LED-verlichting toegepast. Het afvalwater van de douche gaat door een douchewater-WTW.



Afbeelding 7.2.2: Schets doorsnede woning  
(bron) [www.onspassiefhuis.nl](http://www.onspassiefhuis.nl)

### Monitoring

De bewoner houdt de volgende gegevens bij: klimaatgegevens, binnentemperatuur en het totale energiegebruik gegevens. Van het ventilatiesysteem wordt de temperatuur gemeten van de in- en de uitblaas. De temperaturen bij het aanzuigpunt en afgiftepunt van het ventilatiesysteem worden vastgelegd. De hoeveelheid gebruikte houtkorrels worden bijgehouden in kilogrammen per maand. De energieopbrengst van de PV-panelen wordt apart bijgehouden door een kWh-meter. [Onspassiefhuis,2011]

### 7.3 Almere, Columbuskwartier

Het Columbuskwartier in Almere is een demonstratiewoning. De firma Koopmans B.V. is eigenaar en beheerder van de woning. De woning is gerealiseerd met de ambitie om uiteindelijk 'klimaatneutraal' te zijn. Het energiegebruik voor gebouw- en gebruikersgebonden energiegebruik moet worden gecompenseerd door energieopbrengsten van de PV-panelen en de twee windturbines.



Afbeelding 7.3.1: Energieneutraal, Almere  
(bron) [www.koopmans.nl](http://www.koopmans.nl)

### Bepalingsmethode

Het energiegebruik van de woning in Almere is berekend door middel van de EPW en de PHPP berekening. In de EPW berekening is de verwachte energieopbrengst van de twee windturbines niet opgenomen. In de PHPP berekening zijn twee varianten doorgerekend. In de uitgevoerde situatie wordt de ventilatie geregeld door natuurlijke toevoer via zelfregelende roosters in de kozijnen en mechanische afvoer door ventilator in de warmtepomp op ventilatielucht. De woning heeft een warmtevraag van 26 kWh/m<sup>2</sup>. Als er in de woning mechanische balansventilatie aanwezig zou zijn, was de warmtevraag volgens de PHPP berekening 12 kWh/m<sup>2</sup>.

### Bouw- en installatietechnisch

De woning is met de daglichtopening naar het zuiden georiënteerd. De bouwmethode van de woning is beton gietbouw in combinatie met houtskeletbouw gevelelementen. De warmteweerstanden zijn allemaal groter dan 7,5 m<sup>2</sup>k/W. Voor de warmteopwekking is de woning voorzien van een individuele elektrische warmtepomp met als bron de bodem, ventilatieretourlucht en de buitenlucht. De temperatuur voor aanvoer- en retourlucht is een lage temperatuur. De warmteafgifte vindt plaats

doormiddel van radiatoren en convectoren in verschillende ruimten. Het warmtapwater wordt voorverwarmd door 5 m<sup>2</sup> zonnecollectoren op het dak. Eventuele bijverwarming wordt gedaan door de elektrische warmtepomp. Voor de energiebesparing is een douchewater-WTW toegepast.

### Monitoring

De energiegebruik- en energieopbrengstgegevens worden door Koopmans B.V. vastgelegd. De firma Koopmans houdt maandelijks de meterstanden bij om inzicht te krijgen in het energiegebruik en de energieopbrengst. De binnentemperatuur staat ingesteld op eenentwintig graden. De energiegebruiksgegevens voor het huishoudelijk gebruik kunnen niet als representatief worden aangenomen. De woning wordt niet bewoond door een gezin. De woning wordt gebruikt voor rondleidingen en presentaties. [Koopmans,2011]

## 7.4 Selfkant, Passiefhuis (Duitsland)

De woning is een vrijstaand passiefhuis in Duitsland. De bewoners hebben de voor- en nadelen onderzocht en zijn tot de conclusie gekomen dat een passiefhuis bouwen in Duitsland financieel voordeliger is dan in Nederland. Een voordeel voor de bewoner was de grondprijs per vierkante meter. De subsidieregeling voor PV-panelen en de 50 eurocent per kilowattuur voor teruggeleverde energie de komende 20 jaar gegarandeerd. Met de huidige hoeveelheid energieopbrengst van de PV-panelen, krijgt de bewoner meer geld terug dan dat er voor het energiegebruik betaald.



Afbeelding 7.4.1: Passiefhuis Selfkant  
(bron) [www.mijnpassiefhuis.nl](http://www.mijnpassiefhuis.nl)

### Bepalingsmethode

De warmtebehoefte van de woning is met behulp van de PHPP berekening berekend. De warmtebehoefte volgens de PHPP berekening is 14,9 kWh/m<sup>2</sup>. De primaire energievraag voor gebouw- en gebruikersbonden energiegebruik is volgens de PHPP berekening ongeveer 78 kWh/m<sup>2</sup>.

### Bouw- en installatietechnisch

De woning is een traditioneel gebouwde woning doormiddel van kalkzandsteen binnenblad en bakstenen buitenblad. Aan de zuidzijde van de woning zijn daglichtopeningen gecreëerd om zo optimaal mogelijk de zonnewarmte te benutten. De luifel boven de daglichtopeningen aan de zuidzijde zorgt voor beschaduwing bij een hoogstaande zomerzon. De vijver in de tuin voor de daglichtopeningen aan de zuidzijde moet voor meer warmtereflectie in de woning zorgen in het stookseizoen. De luchtdichtheid van een passiefhuis mag een  $n_{50}$  waarde hebben van 0,6/h<sup>-1</sup>. De luchtdichtheid van de woning heeft een werkelijk gemeten waarde van  $n_{50}$ : 0,09/h<sup>-1</sup>. De ventilatie in de woning wordt voorzien van een WTW-unit in combinatie met een grondbuis. Een warmtepompboiler met een inhoud van 250 liter zorgt voor het warmtapwater. De warmte die nodig is wordt gecreëerd door een pelletkachel met een lucht uitblaas. In de zomerperiode wordt de woning gekoeld met nachtventilatie. De energieopbrengst komt van een aantal PV-panelen met een oppervlakte van 24,8m<sup>2</sup> die op het platte dak zijn geplaatst. Het platte dak heeft als voordeel dat de PV-panelen onder een optimale hoek richting het zuiden kunnen worden gepositioneerd.

### Monitoring

De bewoner van de woning heeft geen aparte energiegegevens gemeten. Alleen de energiegebruik- en energieopbrengst gegevens zijn opgesplitst. [Mijnpassiefhuis,2011] en [P+ Bouwtrends,2008/4]

## 7.5 Utrecht, Passiefhuis

De woning in Utrecht is in 2008 zelf door de bewoner gerealiseerd. De bewoner heeft een paar maanden meegelopen bij een Duitse passiefhuisbouwer. De bewoner had als ambitie de woning energiezuinig te laten zijn met een zeer aangenaam comfort.

### Bepalingsmethode

De warmtebehoefte van de woning is bepaald doormiddel van de PHPP berekening. De warmtebehoefte van de woning is volgens de PHPP berekening ongeveer 14 kWh/m<sup>2</sup>. De primaire energievraag is met de PHPP berekend op ongeveer 96 kWh/m<sup>2</sup>. Het resultaat van de luchtdichtheidsmeting is uitgekomen op n<sub>50</sub>waarde: 0,2 /h<sup>-1</sup>.

### Bouw- en installatietechnisch

De woning is opgebouwd in een Isorast bouwsysteem. Het Isorast systeem bestaat uit isolatieblokken die zowel aan de binnen en buitenzijde moeten worden voorzien van de stuclaag als afwerking. In de tussenliggende gleuf wordt beton gestort, zoals weergegeven op de afbeelding 7.5.2. Door het betonstorten wordt er een massief betonsysteem gerealiseerd. Tijdens de ontwerpfase is er voor gezorgd dat de grotere daglichtopeningen aan de zuidzijde. Voor ruimteverwarming is een warmtepomp aanwezig. Het afgiftesysteem van de woning bestaat uit betonkernactivering. Het principe betonkernactivering bestaat uit leiding die in de prefab betonvloer zijn ingestort. Door de leidingen kan zowel warmwater voor verwarmen als koudwater voor koelen worden doorgevoerd. Op afbeelding 7.5.3. is een doorsnede van de kanaalplaatvloeren met de leidingen weergegeven. De ventilatie in de woning wordt verzorgd door mechanische balansventilatie met een warmtewisselaar. Het warmtapwater wordt verwarmd doormiddel van 5 m<sup>2</sup> zonnecollectoren op het dak. Het warmtapwater wordt opgeslagen in een boiler van 193 liter. De bewoner besteedt veel aandacht aan geluidsniveau, omdat een passiefhuis goed geïsoleerd is en dat geluid van buiten niet hoorbaar is in de woning. Een installatie mag geen hoger geluidsniveau hebben dan 28 decibel. Door het geluid van buiten niet hoorbaar is worden installaties met een hoog geluidsniveau als vervelend ervaren door de bewoner. Alle verlichting in de woning is voorzien van LED-verlichting. De woning is niet voorzien van PV-panelen of een windturbine.

### Monitoring

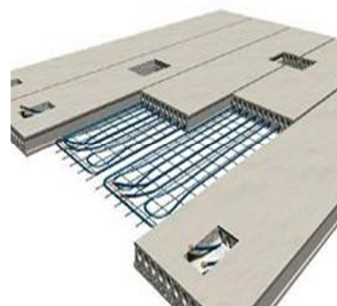
De bewoner heeft alleen de gegevens van het totale energiegebruik op meter in de meterkast. Het specifieke energiegebruik is twee weken lang van verschillende huishoudelijke apparaten en hulpenergie gemonitord. Tijdens de meetperiode is de temperatuur van de lucht door de WTW-unit en ruimtetemperatuur in de keuken en twee slaapkamers gemonitord.



Afbeelding 7.5.1: passiefhuis  
Utrecht (bron)  
[www.eigenhuisbouwen.nl](http://www.eigenhuisbouwen.nl)



Afbeelding 7.5.2: Isorast  
bouwsysteem  
(bron) [www.isorast.nl](http://www.isorast.nl)



Afbeelding 7.5.3:  
betonkernactivering  
(bron) [www.isorast.nl](http://www.isorast.nl)

## 7.6 Groenlo, Nulwoning

De Nulwoning in Groenlo is een vrijstaande woning met zowel een passiefhuis als ecologische achtergrond. De woning is in 2008 opgeleverd. De betrokken partijen komen zoveel mogelijk uit de omgeving van de plaats Groenlo. De bewoner heeft in samenwerking met een kozijnenleverancier een kozijn ontwikkeld met lage warmtedoorgangscoefficiënt en drielaags glas. Door alle producten uit de omgeving van Groenlo te halen wordt er bespaard op het transport van materialen. De ambitie van de bewoner is een 'Nulwoning' te realiseren met een hoog comfort. Met de ambitie moet zowel gebouw- en gebruikersgebonden energiegebruik met energieopbrengsten worden gecompenseerd.



Afbeeld 7.6.1: Nulwoning, Groenlo  
(bron) [www.nulwoning.nl](http://www.nulwoning.nl)

### Bepalingsmethode

De woning is gerealiseerd op een perceel waar in eerste instantie een woning moest worden gerealiseerd met ecologische voorwaarden. De huidige bewoner heeft de ecologische eisen samengevoegd met het passiefhuis concept. In de ontwerpfase is gebruik gemaakt van de ontwerpstrategie Trias Energetica. Voor de woning is de Trias Energetica aangepast door de bewoner. De bewoner geeft aan dat een Nulwoning met de volgende drie stappen kan worden ontworpen:

- Stap 1: Beperk de energievraag (goed geïsoleerd en luchtdicht bouwen, warmterugwinning). Gebruik energiezuinige apparatuur
- Stap 2: Gebruik een efficiënt systeem voor verwarming en warmtapwater. Gebruik, bijvoorbeeld thermische collectoren met een warmtebuffers, een warmtepomp met bodemwarmte en energiemanagers om de juiste warmte/energie bronnen te kunnen aanspreken. Maar vergeet passieve energiebronnen niet als zuidelijke oriëntatie van de woning, glasoppervlakten en grondbuis.
- Stap 3: Wek de nog benodigde energie op met hernieuwbare energie bijvoorbeeld PV-panelen en of een windmolen.

De bepalingmethode voor de Nulwoning was de PHPP berekening. De warmtebehoefte volgens de PHPP berekening is ongeveer 15 kWh/m<sup>2</sup>.

### Bouw- en installatietechnisch

De bouwmethode van de woning is houtskeletbouw. De draagconstructie en het dak zijn als eerste gerealiseerd. Doordat het dak waterdicht was had de bewoner een droge werkplaats om de rest van de woning op te bouwen. De stramienmaat van de woning is vierenhalve meter. De stramienmaat had als voordeel dat de bewoner tijdens het bouwproces veel materialen zelf kon aanbrengen. De daglichtopeningen van de woning zijn georiënteerd op het zuiden. Op het perceel staan enkele bomen die in de zomer voor beschaduwing zorgen op de PV-panelen en zonnecollectoren. Het ventilatiesysteem van de woning is voorzien van een WTW-unit in combinatie met een grondbuis. Het warmtapwater wordt nu nog doormiddel van zonnecollectoren verwarmd. De zonnecollectoren worden in de toekomst vervangen door vacuümbuiscollectoren. De verlichting in de woning is voorzien van LED-verlichting. Bij het aanschaffen van huishoudelijke apparaten houdt de bewoner wel rekening met energiezuinigheid maar is het comfort het belangrijkste. [Nulwoning, 2011]

## Monitoring

De woning wordt op verschillende onderdelen gemonitord. Volgens de bewoner is zijn woning een proef laboratorium om nieuwe technieken te testen. Vanaf het moment dat de woning is opgeleverd worden verschillende installaties gemonitord om te onderzoeken wat de resultaten en het energiegebruik zijn. In samenwerking met verschillende leveranciers worden de installaties gemonitord.

## 7.7 Amersfoort, Energiebalanswoning

De energiebalanswoning is in 2000 opgeleverd in de wijk Nieuwland in Amersfoort. Het gaat om een twee onder één kap woning. Eén van de twee woningen wordt bewoond door een gezin. De andere woning was in de eerste jaren een testwoning voor REMU. De woningen zijn in de ontwerpfase gedefinieerd als energiebalans woningen. De hoeveelheid gebruikte energie moet door de energieopbrengst uit PV-panelen worden gecompenseerd.



Afbeelding 7.7.1: Energiebalanswoning Amersfoort  
(bron) <http://www.energiebalanswoningamersfoort.nl>

### Bepalingsmethode

De woning is ontworpen aan de hand van de ontwerpstrategie Trias Energetica. Voor de energiebalanswoning is de derde stap uit de bestaande Trias Energetica vervangen door: “Lever het eventuele overschot aan zelf opgewekte energie terug aan het net en koop het te kort aan elektriciteit in als duurzame stroom (Ecostroom, Windstroom) en het gasgebruik als Ecogas”. Het energiegebruik van de woning is berekend doormiddel van de EPW berekening. De doelstelling voor de woning was het realiseren van een balans tussen de energieopbrengst van zonnestroom en het totale energiegebruik.

### Bouw- en installatietechnisch

De woning is traditioneel gebouwd met warmteweerstanden voor vloeren, gevels en het dak die voldoen aan het Bouwbesluit. De warmteweerstanden van de begane grondvloer, gevels en het dak zijn ongeveer  $3,5 \text{ m}^2\text{k/W}$ . De woning is optimaal georiënteerd op het zuiden. Het dak is een lessenaarsdak dat onder een hoek van  $21^\circ$  is georiënteerd op het zuiden. Het ventilatiesysteem in de woning is voorzien van een WTW-unit in combinatie met een bodemwarmtewisselaar. De bodemwarmtewisselaar wordt zowel voor de warmte- als koelvraag gebruikt. De ruimtewarming voor de verschillende ruimten wordt geleverd met zonnecollectoren en een elektrische aangedreven warmtepomp in combinatie met een bodemwarmtewisselaar. De warmte in de ruimten wordt afgegeven door wand- en vloerverwarming. Ongeveer de helft van de behoefte van warmtapwater wordt geleverd door zonnecollectoren met een oppervlakte van circa  $8,4 \text{ m}^2$ . De overige verwarming van het warmtapwater wordt geleverd met een warmtepomp. De verlichting in de woning bestaat uit een combinatie van LED-verlichting en spaarlampen. De wasmachine is voorzien van de hotfill aansluiting. Voor energieopbrengst liggen er op elk dakvlak van de woning ongeveer 144 PV-panelen.



## Monitoring

De woning is in de periode april 2001 t/m maart 2002 gemonitord. Voor de monitoring zijn de gebruiksgegevens op specifieke meetpunten gemonitord. Van elke installatie in de woning zijn de energiegebruiksgegevens bekend. [Energiebalanswoning Amersfoort, 2011]

## 7.8 Amsterdam, Steigereiland 2.0

De woning op het steigereiland in Amsterdam is opgeleverd in 2009. De bewoner had in de ontwerpfase de ambitie om een energieneutrale woning te realiseren. De woning is gebouwd volgens de passiefhuis normering. De woning in Amsterdam is de eerste woning in Nederland die voldoet aan de eisen voor het passiefhuiscertificaat praktijk.

### Bepalingsmethode

De ontwerpstrategie Cradle to Cradle is gebruikt tijdens ontwerpfase van de woning. De PHPP berekening is gebruikt voor het bepalen van de warmtevraag van de woning. De warmtevraag van de woning is volgens de PHPP berekening 13 kWh/m<sup>2</sup>.



Afbeelding 7.8.1: Passiefhuis Steigereiland 2.0

### Bouw- en installatietechnisch

De draagconstructie van de woning bestaat uit houtskeletbouw elementen. De houtskeletbouw elementen zijn vooraf in de fabriek geprefabriceerd. Doordat de woning een tussenwoning is, wordt in de PHPP berekening het warmteverlies naar de twee naastliggende woningen niet meegerekend. Door de twee scheidingswanden niet mee te rekenen in de PHPP berekening wordt het verliesoppervlak van de woning verkleind. De scheidingswanden zijn geïsoleerd uitgevoerd. Op het moment dat de scheidingswanden niet worden geïsoleerd kan de warmte van de naastgelegen woningen invloed hebben op de binnentemperatuur. Bij een verschil van temperatuur in de spouwmuur ontstaat trek van koude lucht tussen de beide scheidingswanden. De koude lucht koelt de scheidingswanden af. De afgekoelde scheidingswanden kunnen invloed hebben op de hogere binnentemperatuur. Het glasoppervlak ligt dieper terug in de gevel, waardoor de hoogstaande zomerzon geweerd wordt en de laagstaande winterzon de ruimte wel kan verwarmen. De ramen zijn voorzien van een handmatige bedienbare zonwering. Het ventilatiesysteem is een WTW-unit in combinatie met een bodemwarmtewisselaar. De extra warmte die eventueel nodig is om de woning te verwarmen wordt geleverd door een pelletkachel in de woonkamer. In de zomerperiode wordt de woning door nachtventilatie en de bodemwarmtewisselaar gekoeld. Op de bovenste verdieping is een raam aangebracht dat kan worden geopend voor nachtventilatie. Op de begane grond is aan de achterzijde van de woning een mogelijkheid een verticaal raam te openen. Voor het opwarmen van het tapwater zijn vacuümbuiscollectoren aangebracht in de gevel. De vacuümbuiscollectoren zijn allemaal zo gedraaid dat ze optimaal mogelijk zijn georiënteerd op het zuiden. Voor het eventueel bij verwarmen van het warmtapwater is een lucht / water warmtepomp geïnstalleerd. De duurzame energie wordt opgewekt door een windturbine.



Afbeelding 7.8.2:  
Vacuümbuiscollectoren  
(bron) <http://www.architecturenewsplus.com>

### Monitoring

De bewoner heeft nog geen specifieke energiegegevens. De bewoner is van plan een monitorsysteem te installeren om te kijken wat zijn specifieke energiegebruik gegevens zijn. Voor de energieopbrengst van de windturbine en het totale energiegebruik heeft de bewoner een kWh-meter. [Steigereiland 2.0, november 2010]

## 7.9 Swalmen, Passiefhuisnu

De vrijstaande woning in Swalmen is een passiefhuis. De woning is opgeleverd in 2009. De bewoners zijn op het idee gekomen om een passiefhuis te realiseren na ze een Duits artikel over een passiefhuis gelezen te hebben. De woning is niet voorzien van PV-panelen of een windturbine.

### Bepalingsmethode

De toegepaste bepalingmethode voor de woning is de PHPP berekening. De warmtebehoefte volgens de PHPP berekening is 15 kWh/m<sup>2</sup>. De primaire energievraag is volgens de PHPP berekening ongeveer 65 kWh/m<sup>2</sup>.



Afbeelding 7.9.1: Passiefhuis Swalmen  
(bron) [www.passiefhuisnu.nl](http://www.passiefhuisnu.nl)

### Bouw- en installatietechnisch

Het bouwsysteem van de woning is massiefbouw. Het binnenspouwblad is aan de buitenzijde voorzien van een gestuukte dik pakket harde isolatie. De grote daglichtopening zijn georiënteerd op het zuiden. De woning wordt geventileerd door middel van een ventilatie-unit met een tegenstroom warmtewisselaar. Voor de ruimteverwarming wordt gebruik gemaakt van een warmtepomp met warmwateropslag.

### Monitoring

De bewoner heeft geen specifieke opsplitsing in het energiegebruik. De bewoner heeft alleen het werkelijke energiegebruik op meter. [Passiefhuisnu,2011]

## 7.10 Rotterdam, Appartementen Sleephellingstraat

Het appartementencomplex aan de Sleephellingstraat te Rotterdam is gebouwd in 1908 en in 2008/2009 grondige gerenoveerd. Het appartementencomplex is op passiefhuisniveau gerenoveerd. De voorgevel van het appartementencomplex is een beschermd stadsgezicht. Hierdoor kon in het ontwerp geen rekening worden gehouden met de oriëntatie richting de zon.

### Bepalingsmethode

De appartementen zijn gerenoveerd om uiteindelijk te voldoen aan een warmtebehoefte 25 kWh/m<sup>2</sup>. Als een renovatieproject in aanmerking wil komen voor een passiefhuiscertificaat, dan moet de warmtebehoefte kleiner of gelijk aan 25 kWh/m<sup>2</sup> zijn.

### **Bouw- en installatietechnisch**

Bouwtechnisch zijn de warmteweerstanden van de gevels opgevaardeerd. De gevels zijn aan de binnen- of aan de buitenzijde voorzien van isolatie. Om het appartementencomplex te voorzien van ventilatie is een gebalanceerd systeem met warmteterugwinning toegepast. Voor verwarmen van ruimtes is het appartementencomplex voorzien van combiketels. De combiketels worden gebruikt voor het bij verwarmen van het warmtapwater. Het warmtapwater wordt in eerste instantie verwarmd door zonnecollectoren. Voor het appartementencomplex wordt geen duurzame energie opgewekt op het perceel. Om te besparen op het energiegebruik van de wasmachines zijn hotfill aansluitingen gemonteerd. De zonwering is geplaatst tussen de oude en de nieuwe terug liggende ramen. Het appartementencomplex is niet voorzien van eigen energieopwekking.



Afbeelding 7.10.1:  
Sleephellingstraat  
(bron) [www.passiefhuismarkt.nl](http://www.passiefhuismarkt.nl)

### **Monitoring**

Het energiegebruik van het de appartementen is na oplevering anderhalf jaar gemonitord. Tijdens de monitorperiode is van het binnenklimaat de temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en CO<sub>2</sub> concentratie gemeten. Naast de metingen is ook een tevredenheidsonderzoek gehouden onder de bewoners.

### **7.11 Oostende, Energiezuinig (België)**

De bewoners hebben in 2002 een energiezuinige woning gebouwd. De bewoners hebben de uitdaging aangenomen om een huis te bouwen dat op energetisch vlak beter presteert dan wat gangbaar is in België. De woning waarin het gezellig en gezond is om te wonen, en die tegelijk minder energie gebruikt dan een 'traditionele' woning.



Afbeelding 7.11.1: Energiezuinig  
woning (bron) [www.like.be](http://www.like.be)

### **Bepalingsmethode**

De berekening voor de woning is opgeleverd in 2005. In België moest de berekening destijds worden gemaakt door de K-waarde uit te rekenen. De K-waarde wordt bepaald door de isolerende waarden van de verschillende bouwmaterialen op te tellen. In de berekening wordt geen rekening gehouden met bijvoorbeeld: oriëntatie, daglichtopeningen zonwering of welk type ventilatiesysteem er worden gebruikt. De K-waarde moet worden uitgerekend voor het indienen van de bouwaanvraag in België. Vanaf 2005 is de K-waarde vervangen door het zogenaamde E-peil. Het E-peil is een nieuwe manier van berekenen en houdt rekening met bijvoorbeeld: oververhitting, ventilatie en lokale energieproductie.

### **Bouw- en installatietechnisch**

Het bouwsysteem van de woning is traditioneel. Het ventilatiesysteem van de woning is een mechanische balansventilatie met warmteterugwinning in combinatie met een grondbuis. De ruimteverwarming van de woning is voorzien van een lage temperatuur verwarming met op de begane grond vloerverwarming en op de verdieping wandverwarming. Het warmwater wordt geleverd door de zonnecollectoren en opgeslagen in een boiler met een inhoud van 500 liter.

Voor de bijverwarming van ruimteverwarming en warmwater is de woning voorzien van een gasketel. De energieopbrengst komt van veertien PV-panelen die op het dak zijn aangebracht.

### **Monitoring**

In de woning worden verschillende installaties gemonitord door de bewoner. De temperatuurverschillen tussen de aan- en afvoer van de balansventilatie zijn gemeten. Evenals het rendement van de WTW-unit. De luchtvochtigheid in de woning wordt bijgehouden. De temperatuur in de boiler wordt op de drie verschillende plaatsen in het boilervat gemeten. De energieopbrengst van de PV-panelen wordt per dag vastgelegd. En uiteindelijk worden de totale energiegebruik gegevens van gas, water, elektriciteit en hout bijgehouden. De bewoner houdt het energiegebruik per afzonderlijke installatie niet bij. [Like.be,2011]

## **7.12 Conclusie**

### **Definitie / Ontwerpstrategie**

Bij de tien gerealiseerde woning zijn de volgende definitie door de bewoner opgesteld: Energieneutraal, Passiefhuis, Energieneul, Klimaatneutraal en Energiezuinig. De Kyoto Piramide als ontwerpstrategie is gebruikt bij passiefhuizen met een ambitie met een warmtevraag kleiner dan 15 kWh/m<sup>2</sup>. Bij de woning in Amsterdam wordt aangegeven dat er gebruik is gemaakt van de ontwerpstrategie Cradle to Cradle. Bij de woning in Groenlo is een aangepaste Trias Energetica gebruikt. Bij een aantal woningen is niet alleen het energiegebruik belangrijk maar ook de ambitie om: duurzaamheid, gezond binnenklimaat, hoog comfort en financieel voordeel te realiseren. In de bijlage I is een totaal overzicht toegevoegd waarin alle gegevens van de definitie- ontwerpstrategie, bepalingmethode, bouw- en installatietechnisch en monitoring per woning weergegeven.

### **Bepalingsmethode**

Voor de passiefhuizen moet de warmtevraag berekend zijn met de PHPP berekening. Bij een aantal passiefhuizen is het totale primaire energiegebruik berekend met de PHPP berekening. Als het totaal energiegebruik niet berekend is met de PHPP berekening is het energiegebruik gebaseerd op basis van aannames van een adviseur of de bewoner. De woning in Amersfoort alleen berekend met een EPW berekening.

### **Bouw- en installatietechnisch**

De bouw- en installatietechnische gegevens zijn vrijwel van elke woning openbaar op een internetsite. De bouwmethodes die gebruikt zijn om de woningen te realiseren zijn bijvoorbeeld: houtskeletbouw, massief en traditioneel gebouwd. De woningen zijn altijd voorzien van een geïsoleerde gebouwschil met een Rc-waarde tussen de 5 m<sup>2</sup>K/W de 12,5 m<sup>2</sup>K/W. De energiebalanswoning in Amersfoort heeft een gebouwschil met een gemiddelde Rc-waarde van 3,5 m<sup>2</sup>K/W. De luchtdichtheid van de passiefhuizen is vaak onder de passiefhuis eis van 0,6/h<sup>-1</sup>. De woning in Selfkant heeft een luchtdichtheid van 0,09/h<sup>-1</sup>. Bij de demonstratiewoning in Almere is de ventilatie geregeld doormiddel van natuurlijke toevoer / mechanische afvoer. De overige woningen zijn voorzien van een gebalanceerd ventilatiesysteem met een WTW-unit. Zes van de tien woningen zijn voorzien van zonnecollectoren om de warmtevraag voor warmtapwater / ruimteverwarming te compenseren.



### **Monitoring**

De beschikbare energiegegevens per woning bestaat het enkel uit het bijhouden van de jaarlijkse meterstanden. De specifieke monitorgegevens van het energiegebruik komen voort uit tijdelijke energiemetingen in de woningen. Van de energiebalanswoning in Amersfoort is door REMU-DWA-Ecofys het werkelijke energiegebruik over één jaar gemonitord.



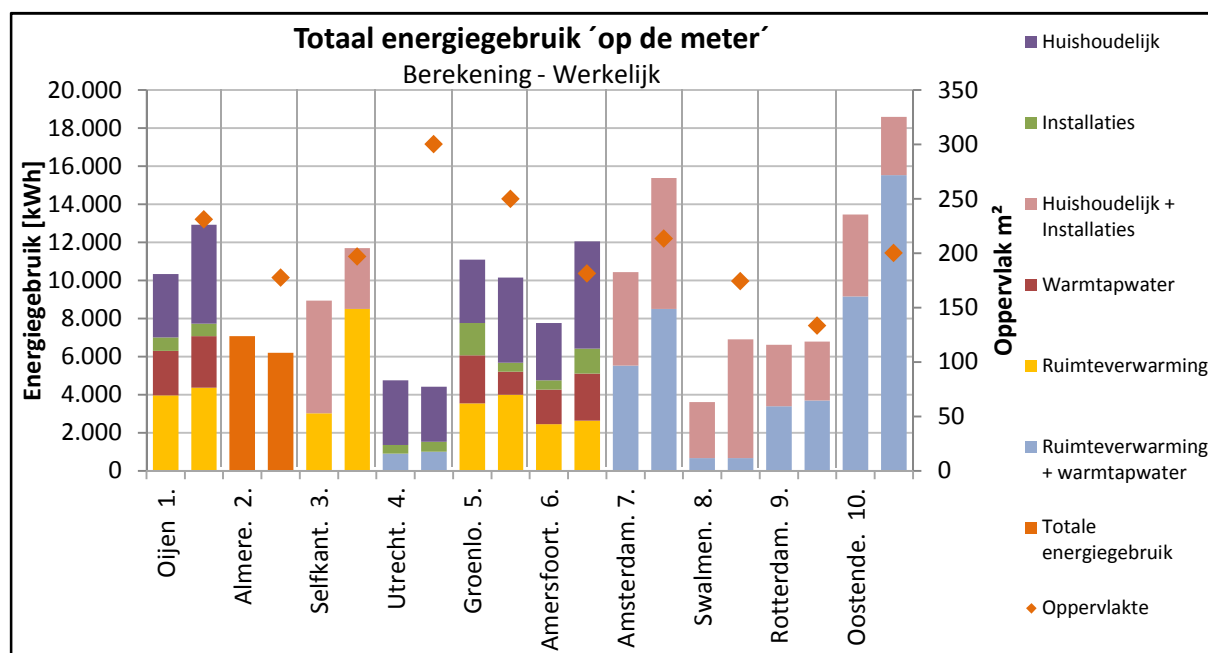
## 8. Vergelijking energiegebruik

In dit hoofdstuk is een vergelijking gemaakt tussen het berekende en het werkelijke energiegebruik. De tien gerealiseerde woningen zoals weergegeven in hoofdstuk 7 zijn voor de vergelijking gebruikt. Het totaal energiegebruik is toegelicht in §8.1. Het totaal energiegebruik is opgesplitst in: energie 'op de meter' en primaire energiegebruik per vierkante meter. In §8.2 is ruimteverwarming in combinatie met warmtapwater van alle woningen omschreven. In §8.3 zijn de woningen toegelicht waarvan ruimteverwarming apart van warmtapwater wordt geleverd. In §8.4 warmtapwater, is een vergelijking gemaakt tussen berekening / aannames en het werkelijke energiegebruik voor warmtapwater. In §8.5 is het werkelijke energiegebruik voor hulpenergie vergeleken met de berekening. Het berekende / werkelijke huishoudelijke energiegebruik is in §8.6 vergeleken met het Nederlands gemiddelde energiegebruik. In §8.7 is een vergelijking gemaakt tussen de verwachte en de werkelijke energieopbrengst van de PV-panelen en de windturbine. Uit alle hiervoor genoemde paragrafen zijn de conclusies uitgewerkt in §8.8. De gedetailleerde vergelijking van het energiegebruik per woning is toegevoegd in de bijlage II.

### 8.1 Totaal energiegebruik

#### 8.1.1 Totaal energiegebruik 'op de meter'

Het totaal energiegebruik op de meter is vergeleken met het berekende energiegebruik op meter. In de grafiek 8.1.1 is de verdeling van het totaal energiegebruik weergegeven. Per project zijn twee kolommen weergegeven. In de linkerkolom is de berekening weergegeven. In de rechterkolom is het de werkelijke energiegebruik weergegeven. De gegevens in de grafiek de energiegegevens op de meter. Bij enkele woningen is alleen het totale energiegebruik bekend voor huishoudelijk en hulpenergie samen. Van enkele woningen is het energiegebruik niet opgesplitst voor ruimteverwarming en warmtapwater. Van de woning in Almere is de verdeling van het totale energiegebruik onbekend.



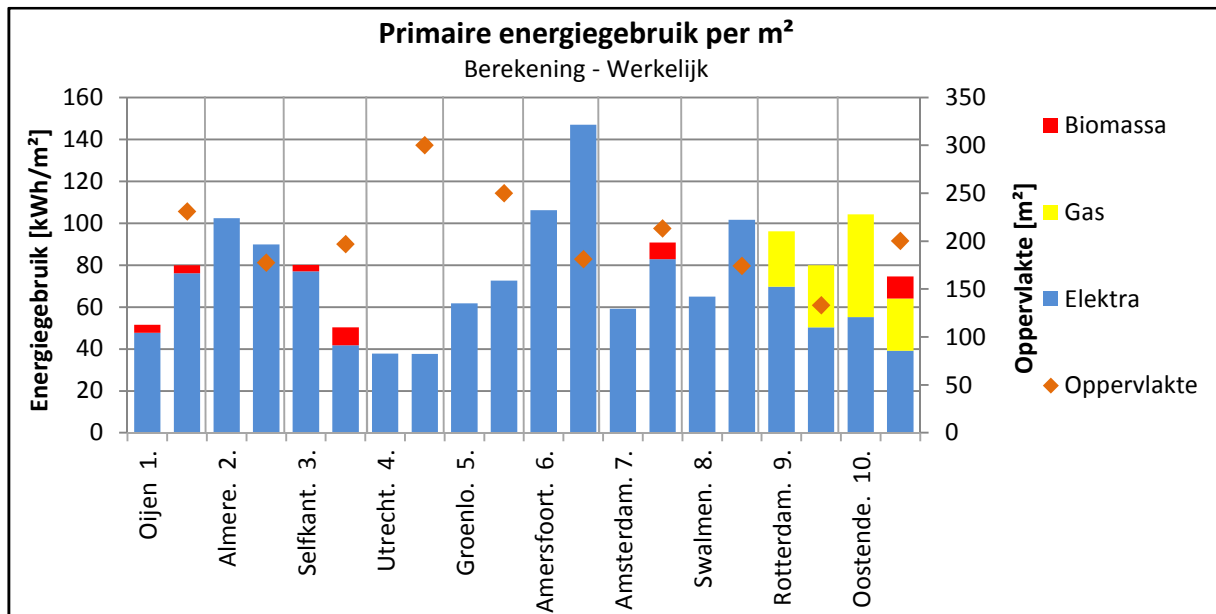
Grafiek 8.1.1: Totaal energiegebruik 'op de meter'

### 8.1.2 Totaal primaire energiegebruik per m<sup>2</sup>

In grafiek 8.1.3 is het berekende primaire energiegebruik met het werkelijke energiegebruik per m<sup>2</sup> weergegeven. Het energiegebruik is opgesplitst in elektra, gas en biomassa. Om het primaire energiegebruik te berekenen zijn de omrekenfactoren toegepast zoals weergegeven in tabel 8.1.2.

	Eenheid	kWh	Primair
Elektriciteit	kWh	→ x 1,0	↔ x 2,6
Gas	m <sup>3</sup>	→ x 9,8	↔ x 1,0
Biomassa	kg	→ x 5,0	↔ x 0,2

Tabel 8.1.2: Omrekenfactor primaire energie [kWh]



Grafiek 8.1.3: Totaal primaire energiegebruik per m<sup>2</sup>

#### Conclusies

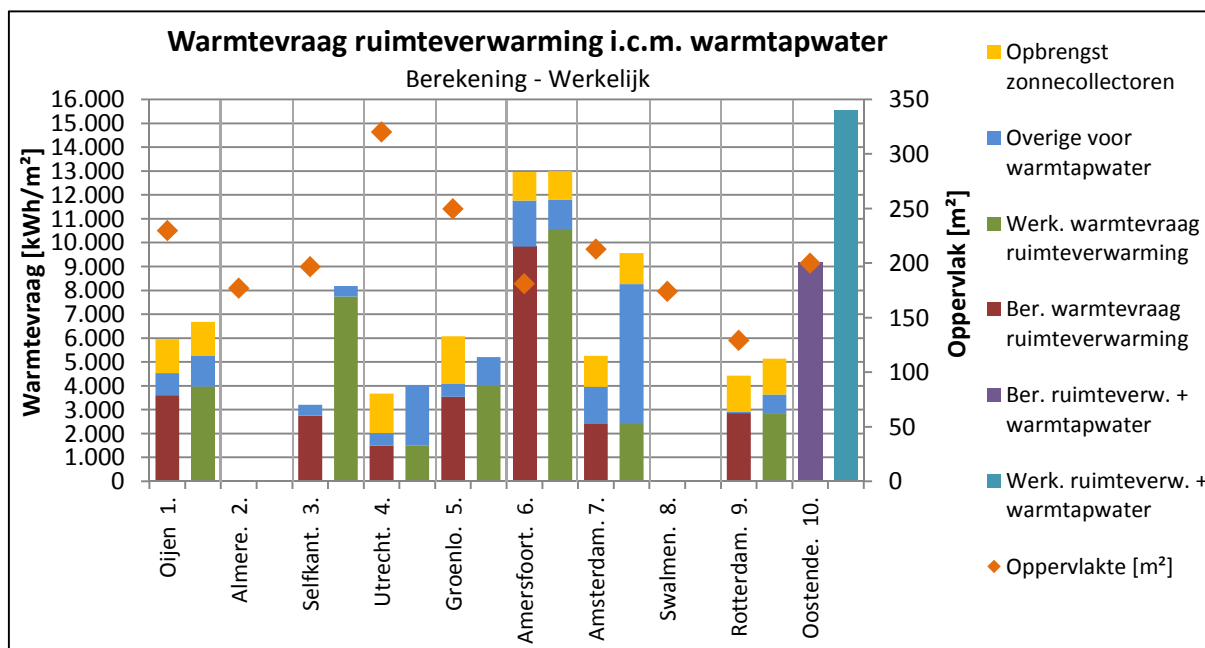
- Alleen de woningen in Amersfoort voldoet niet aan passiefhuis ambitie, omdat het totale primaire energiegebruik groter is dan 120 kWh/m<sup>2</sup>.
- De woning in Rotterdam en Oostende maken gebruik van gas. Zolang het gas niet van een duurzame bron afkomstig is, voldoet de woning niet aan de gestelde ambitie 'energieneutraal'.
- Bij de woningen Oijen, Selfkant, Amsterdam en Oostende wordt gebruik gemaakt van biomassa. Het gebruik van biomassa moet maar voor 20% worden gecompenseerd. De primaire energie omrekenfactor van biomassa is 0,2 voor transport, verwerking van de gefabriceerde houtkorrels. Als de totale warmtevraag met biomassa wordt gecompenseerd, is het eenvoudiger om te voldoen aan de gestelde voorwaarden voor de definitie 'energieneutraal'.

## 8.2 Ruimteverwarming + warmtapwater

De warmtevraag voor ruimteverwarming en warmtapwater is bij enkele woningen niet opgesplitst, daarom is in de grafiek 8.2.1 de verdeling van de warmtevraag voor ruimteverwarming en warmtapwater weergegeven. Bij de woningen waar geen verdeling bekend is tussen ruimteverwarming en warmtapwater is er vanuit gegaan dat ruimteverwarming in de werkelijkheid overeenkomt met de berekening. Voor de woningen is de hoeveelheid energiebesparing van de zonnecollector berekend met de PHPP berekening. Als er geen berekening is gemaakt voor de warmtevraag voor warmtapwater is er een gemiddelde energiegebruik van 1.800 kWh aangehouden.



De aanname van 1.800 kWh wordt gebruikt door een gemiddeld gezin van 2,3 personen. De aanname van 1.800 kWh is voor de vergelijking geïnterpoleerd naar de werkelijke gezinssamenstelling. De werkelijke warmtevraag is gebaseerd op de COP-waarde of het rendement van de installatie die in de productinformatie gegeven is. Als de werkelijke COP-waarde of het rendement lager is dan de opgegeven waarde, zal de werkelijke warmtevraag in werkelijkheid hoger zijn dan nu is weergegeven. Voor dit onderzoek is het werkelijke rendement niet gemeten.



Grafiek 8.2.1: Warmtevraag voor ruimteverwarming + warmtapwater

### Conclusie

- Bij de woning in Selfkant wordt warmtapwater voorzien door een warmtepomp en ruimteverwarming door een pelletkachel. Het verschil tussen de berekening en de werkelijkheid is waarschijnlijk te verklaren door het functioneren van de pelletkachel en de hogere binnentemperatuur.
- Het verschil tussen de berekening en de werkelijkheid bij de woning in Amsterdam is te verklaren door het niet goed functioneren van het verwarmingssysteem voor warmtapwater en ruimteverwarming.
- De woningen in Utrecht is in de werkelijkheid niet voorzien van zonnecollectoren. Het verschil tussen de berekende en werkelijke warmtevraag voor ruimteverwarming en warmtapwater komt nagenoeg overeen.
- De woning Groenlo is in de werkelijkheid niet voorzien van zonnecollectoren. In de vergelijking is het verschil tussen de berekende en werkelijke warmtevraag aanzienlijk groot. Het verschil is niet te verklaren.
- De verdeling van de woning in Oostende voor de warmtevraag van ruimteverwarming en warmtapwater is niet bekend.

### 8.3 Ruimteverwarming

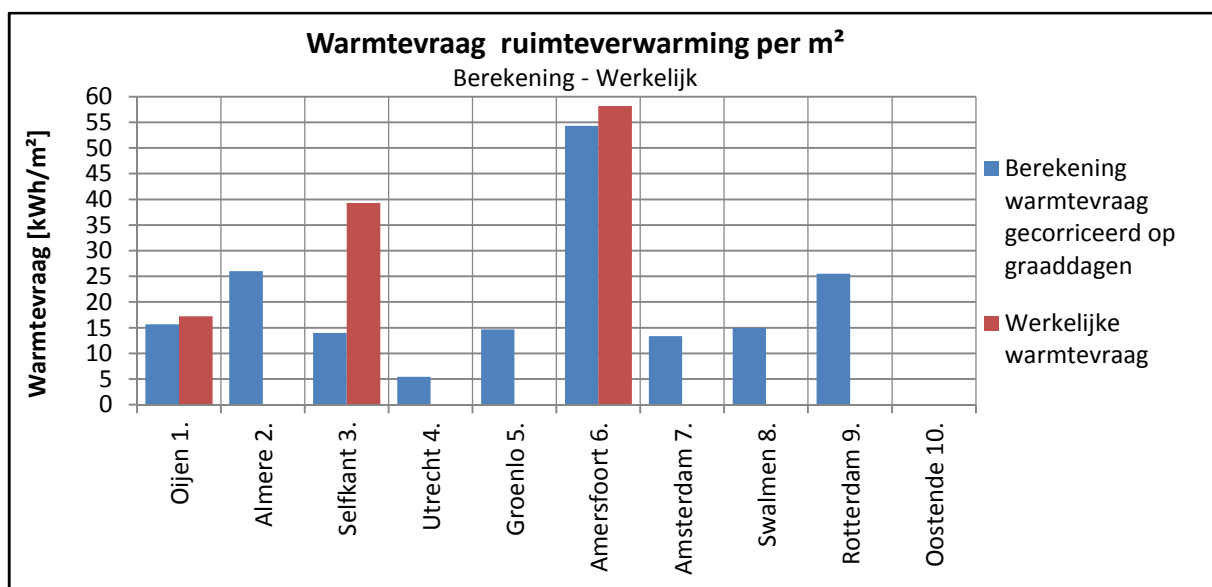
#### Berekening

De warmtevraag voor de woningen is berekend aan de hand van de jaarmethode in de PHPP berekening. Bij de energiebalanswoning in Amersfoort is de warmtevraag gebaseerd op een EPW berekening. Van de woningen waarvan de PHPP berekening beschikbaar is, zijn de klimaatgegevens aangepast naar werkelijke klimaatgegevens om een vergelijking te kunnen maken de berekening en werkelijkheid. De woningen die in de PHPP berekening zijn berekend, houden als standaard referentie klimaat van weerstation De Bilt aan. Voor de woning in Oijen zijn de klimaatgegevens gebaseerd op de site Meteonorm. De site van Meteonorm bezit voor de PHPP berekening een set data die gebruikt kan worden om de nodige maandelijkse klimaatgegevens voor elke locatie te exporteren naar de PHPP berekening. De graaddagen in de PHPP berekeningen zijn gecorrigeerd op de werkelijk gemeten graaddagen in het jaar. Door de graaddagen in de PHPP berekening te corrigeren met het werkelijke klimaat, kan een vergelijking worden gemaakt met de werkelijke warmtevraag voor ruimteverwarming. De interne warmtelast kan in de PHPP berekening worden berekend of standaard worden aangenomen. In PHPP berekening wordt uitgegaan van een standaard waarde van  $2,1 \text{ W/m}^2$ . De berekende waarde is gebaseerd op het totale berekende elektriciteitsgebruik. In de EPW berekeningen is vaste waarde voor interne warmtelast  $6,0 \text{ W/m}^2$  gebaseerd op een gemiddelde over een etmaal in een gemiddelde verwarmde zone. Meer informatie over interne warmtelast is toegevoegd in bijlage III.

#### Werkelijk

In grafiek 8.3.1. is de berekende en de werkelijke warmtevraag voor ruimteverwarming weergegeven. Van de projecten in Oijen, Selfkant en Amersfoort is de werkelijke warmtevraag voor ruimteverwarming bekend. Bij de woning in Selfkant en Groenlo wordt de warmtevraag voor warmtapwater en ruimteverwarming afzonderlijk van elkaar geleverd.

De warmtevraag voor ruimteverwarming wordt in de woning in Selfkant geleverd door een pelletkachel. De warmtevraag voor warmtapwater wordt geleverd door een warmtepomp. De werkelijke geleverde warmte door een warmtepomp voor warmtapwater van de woning in Amersfoort is gemonitord. Van de woningen waarvan de werkelijke warmtevraag niet bekend is, is alleen het berekende energiegebruik weergegeven in grafiek 8.3.1.



Grafiek 8.3.1: Overzicht warmtevraag ruimteverwarming per m<sup>2</sup>

De werkelijke interne warmtelast is niet in de vergelijking opgenomen. De interne warmtelast is voor dit onderzoek wel apart opgesteld om te bepalen wat de invloed is. De werkelijke interne warmtelast is gebaseerd op het totale jaarlijkse energiegebruik op de meter, min het energiegebruik voor de warmtepomp. De warmte die wordt geproduceerd door de personen die in de woning wonen. In de berekening wordt uitgegaan dat een volwassen persoon een warmteproductie heeft van 80 Watt per uur, met een aanwezigheidsfactor van 0,55 per dag (13,2 uur). De uitkomsten van de berekening zijn weergegeven in tabel 8.3.2. De woningen in Oijen, Utrecht, Groenlo, Amsterdam en Rotterdam zijn berekend met de PHPP berekening. De woning in Amersfoort is berekend met de EPC berekening.

Woningen	Persoon	Opp. [m <sup>2</sup> ]	Berekende interne Vermogen (W/m <sup>2</sup> )	Energie gebruik (kWh)	Gas gebruik koken (kWh)	Persoon warmte-verlies (kWh)	warmte -pomp (kWh)	Interne warmte (kWh)	Werkelijk interne Vermogen (W/m <sup>2</sup> )
1. Oijen	3	230,7	2,1	6.849		1.156	-1.000	7.005	3,5
4. Utrecht	*2,5	320,1	2,1	4.409		964	-1.000	4.373	1,6
5. Groenlo	4	249,7	** 1,85	7.073		1.542	-960	7.655	3,5
7. Amsterdam	4	213,0	2,1	6.878		1.542		8.420	4,5
9. Rotterdam	2	133,0	** 1,63	2.608	490	771		3.869	3,3
<b>Gemiddeld</b>			<b>2,0</b>						<b>3,3</b>
6. Amersfoort	4	181,1	6,0	10.314		1.542	-3.644	8.212	5,2

\* : 2 volwassen en 1 klein kindje.

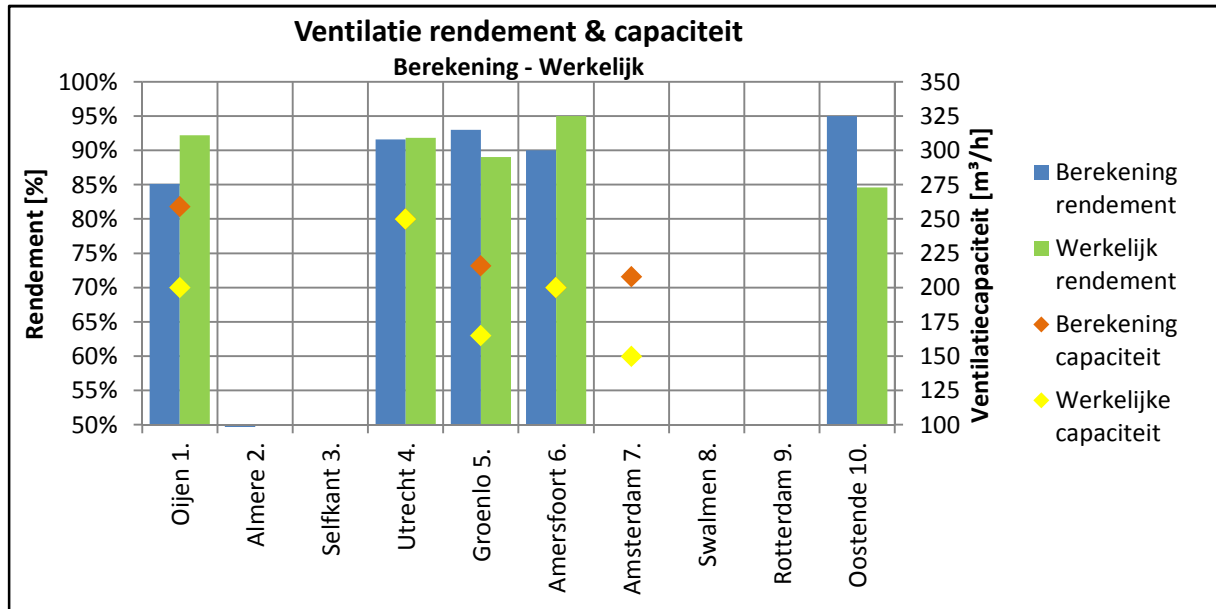
\*\* : Interne warmtelast berekend met PHPP. De 2,1 is een standaard waarde in de PHPP berekening.

Tabel 8.3.2: Overzicht berekening interne warmtelast

## Conclusies

- Het referentieklimaat De Bilt in de PHPP berekening gaat uit van 3075 graaddagen per stookseizoen oktober t/m 26 april. De werkelijk gemeten graaddagen in De Bilt zijn over de periode oktober t/m april in de jaren 2009, 2010 en 2011 gemiddeld 2930 graaddagen per jaar. Doordat er in de werkelijkheid minder graaddagen in het jaar zijn, kan de werkelijke warmtevraag lager zijn dan de berekende warmtevraag.
- De werkelijke warmtevraag voor ruimteverwarming in de woning in Selfkant is driemaal hoer dan berekend. De woning wordt bewoond door maar 1 persoon in plaats van 4 zoals de berekening aangenomen. De hogere binnentemperatuur van 21°C heeft ook invloed op de grotere warmtevraag. De grootste invloed zal waarschijnlijk het functioneren van de pelletkachel zijn.
- Bij de Nulwoning is geen isolatie opgenomen in de PHPP berekening voor aan- en afvoerbuizen van het ventilatiesysteem. In de werkelijkheid zijn de aan- en afvoerbuizen voorzien van isolatie. Bij het Passiefhuis Utrecht is in de PHPP berekening wel isolatie ingevoerd. In werkelijkheid is de isolatie niet aangebracht, hierdoor kan er ook een verschil in rendement van de WTW-unit optreden.
- De interne warmtelast is voor berekend doormiddel van het totale energiegebruik, aantal personen en min het energiegebruik voor de warmtepomp. De berekening van de interne warmte komt dan tussen aanname van de PHPP berekening met 2,1 W/m<sup>2</sup> en EPW berekening met 6,0 W/m<sup>2</sup>. De interne warmtelast in een passiefhuis heeft een grote invloed op ruimteverwarming. Daarom is nader onderzoek naar de werkelijke interne warmtelast een aanbeveling.
- Bij enkele onderzochte woningen is de werkelijke ventilatiecapaciteit lager dan de berekende ventilatiecapaciteit. Het warmteverlies door ventilatie is door de lagere ventilatiecapaciteit, in werkelijkheid lager dan in de berekening is aangenomen. Door een lagere ventilatiecapaciteit kan

de WTW-unit meer warmte uit de binnenlucht halen en aan de koude buitenlucht afgeven (rendement). In grafiek 8.3.3 is het rendement van de verschillende ventilatiesystemen weergegeven.



Grafiek 8.3.3: Overzicht ventilatiesysteem met rendement en capaciteit

## 8.4 Warmtapwater

### Berekening

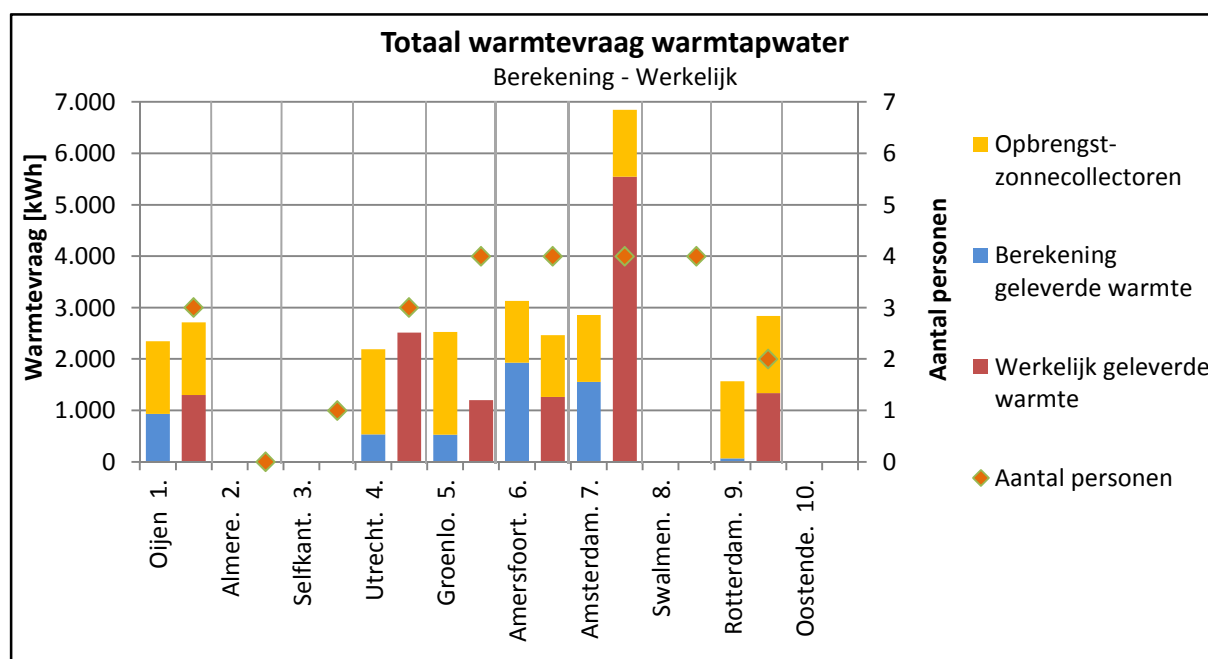
De benodigde energievraag voor warmtapwater en de energieopbrengst van de zonnecollectoren kan berekend worden met de PHPP berekening. Voor de woningen Utrecht en Groenlo is de energiebesparing van de zonnecollectoren berekend met de PHPP berekening zoals weergegeven in tabel 8.4.1. In de PHPP berekening voor de woning in Groenlo is de energiebesparing van de zonnecollectoren 79%. In de PHPP berekening is bij de Nulwoning in Groenlo rekening gehouden met een hotfill aansluiting bij de (vaat)wasmachine. Door de (vaat)wasmachine aan te sluiten op een warmwatertoevoer is de energiebesparing op elektriciteit ongeveer 50% volgens de PHPP berekening. Volgens de PHPP berekening moet een 321 kWh extra warmtapwater worden opgewekt doormiddel van een warmtepomp of zonnecollectoren. Bij de berekening van de energievraag voor warmtapwater is rekening gehouden met het warmteverlies door opslag van warmtapwater in het boilervat. Bij woningen in Oijen, Amersfoort en Rotterdam is de warmtevraag voor warmtapwater niet berekend met de PHPP berekening. Voor deze woningen is een aanname gedaan aan de hand van een elektrische boiler, die volgens 'Milieu centraal' 1.800 kWh per jaar energie gebruikt. De hoeveelheid energie voor een gemiddeld Nederlands huishouden (2,3 personen) is gecorrigeerd naar het werkelijk aantal personen in het huishouden.

Woningen	Aantal personen	Warmtapwatervraag volgens PHPP berekening [kWh]	Besparing zonnecollectoren volgens PHPP berekening [kWh]	Percentage
4. Utrecht	3	2.921	1.656	57%
5. Groenlo	4	2.523	1.997	79%

Tabel 8.4.1: Overzicht energiebesparing warmtapwater doormiddel van zonnecollectoren

## Werkelijk

De werkelijke warmtevraag voor warmtapwater en ruimteverwarming is bij een aantal woningen door hetzelfde verwarmingstoestel geleverd. De berekende warmtevraag is gecorrigeerd op werkelijke graaddagen. De benodigde warmtevraag voor ruimteverwarming wordt van het totale energiegebruik afgehaald om het werkelijk energiegebruik voor warmtapwater te bepalen. De werkelijke energiebesparing van de zonnecollectoren is onbekend ten opzichte van de totale warmtevraag van het warmtapwater. De werkelijke hoeveelheid geleverde warmte door de zonnecollectoren is gelijk gesteld aan de berekende waarde uit de PHPP berekening. Bij de woningen in Oijen en in Groenlo is een douchewater-WTW aanwezig. De energiebesparing doormiddel van de douchewater-WTW is onbekend, daardoor niet opgenomen in de vergelijking.



Grafiek 8.4.2: Overzicht energie warmtapwater

## Conclusies

- Bij de woningen in Groenlo en Amersfoort is de werkelijke energievraag voor warmtapwater minder dan de berekende energievraag. Het verschil kan worden veroorzaakt door verschillende factoren zoals bijvoorbeeld: het totale gebruik, rendement en verkeerde invoer in berekend.
- De conclusie is dat de invoer van warmteverliezen van grote invloed is op het totale berekende energiegebruik voor warmtapwater zoals weergegeven in tabel 8.4.3. Bij de woningen in Utrecht en Groenlo is het verschil tussen het warmteverlies 756 kWh.

Woningen	Milieu centraal [kWh]	PHPP Nuttige warmte warmtapwater [kWh]	PHPP Totale warmteverliezen van het verwarmingssysteem [kWh]	PHPP Berekende warmtevraag voor 2,3 personen [kWh]
4. Utrecht	1.800	1.217	59	1.276
5. Groenlo	1.800	1.217	815	2.032

Tabel 8.4.3: Warmtapwater vergelijk tussen PHPP berekening en Nederlandse gemiddelde

- Volgens 'Milieu centraal' is het gemiddelde energiegebruik voor warmtapwater van een Nederlands huishouden 1.800 kWh. In de berekeningen van de woningen Groenlo en Utrecht is de warmtevraag voor warmtapwater berekend op de werkelijke gezinssamenstelling. Voor de vergelijking met het Nederlandse gemiddelde is de werkelijke gezinssamenstelling in de berekening aangepast naar 2,3 personen zoals weergegeven in tabel 8.4.3.
- In grafiek 8.4.2 is weergegeven dat bij de woningen een deel van het warmtapwater bespaard wordt door zonnecollectoren. Bij de woningen in Groenlo en Utrecht wordt in de werkelijkheid geen gebruik gemaakt van zonnecollectoren. De werkelijke energiebesparing van de zonnecollectoren is niet onderzocht.
- In de woning Amsterdam wordt de warmtevraag voor ruimteverwarming en warmtapwater geleverd door een pelletkachel in combinatie met vacuümbuiscollectoren. De werkelijk geleverde warmte door de pelletkachel is 8500 kWh. Voor de opbrengst van de zonnecollector is een aanname gedaan van 1300 kWh. Bij de woning is de berekende warmtevraag voor ruimteverwarming van de totale warmtevraag afgehaald. De warmtevraag die overblijft, is voor warmtapwater zoals weergegeven in tabel 8.4.4. Conclusie is dat het functioneren van de pelletkachel, die wordt gebruikt voor het leveren van de warmtevraag voor ruimteverwarming en warmtapwater, onbetrouwbaar is. Het verschil tussen de berekende warmtevraag 3029 kWh voor warmtapwater en de werkelijkheid 5649 kWh is 2620 kWh. Een aanbeveling is om nader onderzoek uit te voeren naar het functioneren van een pelletkachel.

Woning	Warmtevraag ruimteverw. + warmtapw. [kWh]	Rendement	Geleverde warmte [kWh]	Ruimteverwarming [kWh]	Berekening opbrengst zonnecollectoren [kWh]	Warmtevraag warmtapwater [kWh]
<b>Amsterdam ber.</b>	6.534	91%	5.946	2.851	1.300	3.029
<b>werk.</b>	9.800	91%	8.918	2.851	1.300	5.649

Tabel 8.4.4: Overzicht Amsterdam, ruimteverwarming en warmtapwater geleverd door een pelletkachel

## 8.5 Hulpenergie

### Berekening

Het energiegebruik voor hulpenergie is voor de woning in Utrecht, Groenlo, Amsterdam en Rotterdam berekend met de PHPP berekening. In de PHPP berekening kan voor hulpenergie het energiegebruik van het ventilatie-, verwarmings-, warmtapwatersysteem worden berekend. Bij woning in Oijen is het energiegebruik voor het installatiesysteem niet in PHPP berekend. Het energiegebruik van het ventilatiesysteem is wel gemeten. Daarom is er een aanname gedaan van 700 kWh (Milieu Centraal) aan de hand van energiegebruik voor gebalanceerd ventilatie om een vergelijking te kunnen maken. Van de woning in Utrecht is in de PHPP berekening voor hulpenergie een ventilatiesysteem met een WTW-unit opgenomen. In de PHPP berekening voor de woning in Groenlo zijn de hulpenergie voor het ventilatiesysteem en het verwarmingssysteem ingevoerd in de PHPP berekening. De woning in Amsterdam is alleen het energiegebruik voor het ventilatiesysteem opgenomen in de berekening.