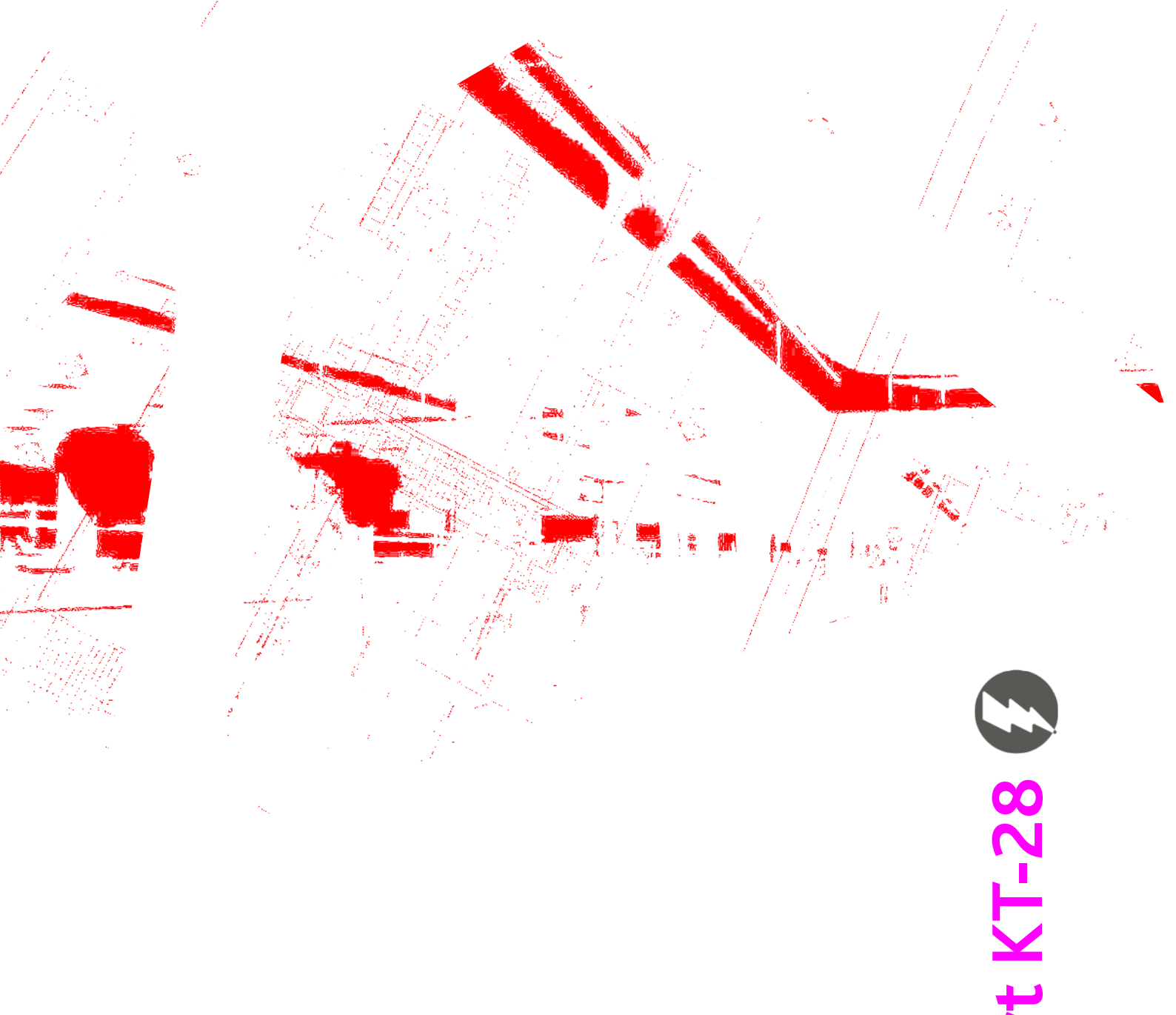




All-electric

Technieken voor energiezuinige woningen



Technisch rapport KT-28



Aan de totstandkoming van deze rapportage hebben meegewerkt:

In samenwerking met

De rapportage werkzaamheden zijn mogelijk gemaakt door financiële ondersteuning van:

- Stichting Promotie Installatietechniek (PIT)

Auteur(s)

ir. Michiel van Bruggen, De Energiemanager
Expertgroep klimaattechniek TVVL



Datum

13 maart 2017



INHOUDSOPGAVE

Blz.

SAMENVATTING	2
HOOFDSTUK 1 - INLEIDING	3
HOOFDSTUK 2 - UITGANGSPUNTEN	4
2.1 Bouwkundig.....	4
2.2 Ventilatie	5
2.3 Warmtebehoefte	6
2.4 Warm tapwater	8
HOOFDSTUK 3 - VENTILEREN	10
3.1 Infiltratie.....	11
3.2 Ventilatiesystemen	13
3.2.1 Mechanische afvoer, natuurlijke toevoer	13
3.2.2 Gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning.....	13
3.2.3 Lokale balansventilatie met warmteterugwinning	14
HOOFDSTUK 4 - WARMTE-AFGIFTE.....	16
4.1 Radiatoren.....	16
4.2 Wandverwarming.....	16
4.3 Vloerverwarming.....	17
4.4 Plafondverwarming	17
4.5 Luchtverwarming	18
HOOFDSTUK 5 - WARMTE-OPWEKKING	20
5.1 Warmtepomp.....	20
5.1.1 Horizontale bodemwarmtewisselaar	21
5.1.2 Verticale bodemwarmtewisselaar	22
5.1.3 Open bron	23
5.1.4 Buitenlucht	23
5.1.5 Ventilatielucht	24
5.1.6 Afvalwater	24
5.2 Weerstandsverwarming.....	24
5.3 Zonneboiler	25
HOOFDSTUK 6 - WARM TAPWATER.....	26
6.1 Douchewater wtw.....	26
6.2 Ventilatiwarmtepomp.....	26
6.3 Elektrische boiler.....	27
6.4 Elektrische geiser	27
6.5 Zonneboiler	27
HOOFDSTUK 7 - INGESLOTEN ENERGIE	28
HOOFDSTUK 8 - FINANCIËLE ANALYSE	29
Bijlage 1: UITGANGSPUNTEN FINANCIËLE BEREKENING	31



SAMENVATTING

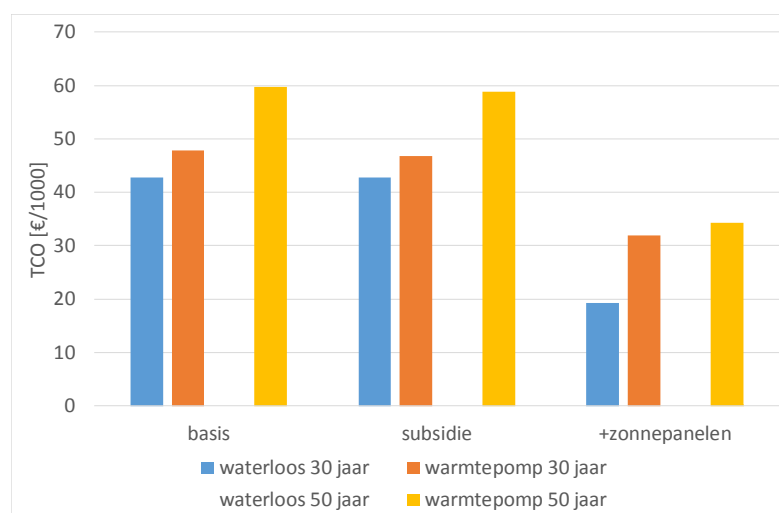
Bij bijna energie neutrale woningen (BENG), zoals in de herziening van de EPBD beschreven, zullen verwarmingssystemen steeds minder gebaseerd zijn op fossiele brandstoffen. In deze rapportage worden de technieken beschreven die toegepast kunnen worden in all-electric energieneutrale woningen. Het accent licht daarbij op de installatietechnische voorzieningen en de specifieke aandachtspunten met betrekking tot zeer energiezuinige woningen.

Bij het beschrijven van de technieken ligt het accent op praktische aandachtspunten die van belang zijn bij het voorlopig ontwerp van een energieconcept voor een bijna energieneutrale woning. De definitieve uitwerking van de concepten valt buiten het bestek van deze rapportage.

Een relevante afweging is of de hoge investeringskosten van warmte-opwekkers zoals een warmtepomp met bodemwarmtewisselaars te verantwoorden is als de energiebehoefte van de woning nog zo laag is. Met dit als uitgangspunt zijn er twee concepten verder uitgewerkt:

- Waterloos: De investering in de warmte-opwekkers is minimaal door gebruik te maken van elektrische (weerstand)verwarming.
- Warmtepomp: Het opwekkingsrendement is zo groot mogelijk door gebruik te maken van een warmtepomp met verticale bodemwarmtewisselaars.

In figuur V-1 zijn de resultaten gegeven van een financiële analyse van deze twee concepten bij een looptijd van 30 jaar en een looptijd van 50 jaar, met- en zonder subsidie en met compensatie van het elektriciteitsgebruik door zonnepanelen. Opvallend daarbij is dat bij het concept met de warmtepomp de *total costs of ownership* (TCO) hoger zijn dan bij het waterloos concept. Daar staat tegenover dat de CO₂-emissies voor het waterloos concept (zonder compensatie door zonnecellen) veel hoger zijn. In scenario's waarin de elektriciteitsprijzen sneller (dan de inflatie) stijgen zijn de TCO van het concept met een warmtepomp wel lager.



Figuur V-1 *Total cost of ownership van twee all-electric concepten.*



HOOFDSTUK 1 - INLEIDING

Bij bijna energie neutrale woningen (BENG), zoals in de herziening van de EPBD beschreven, zullen verwarmingssystemen steeds minder gebaseerd zijn op fossiele brandstoffen. In deze rapportage worden de technieken beschreven die toegepast kunnen worden in all-electric energieneutrale woningen. Het accent licht daarbij op de installatietechnische voorzieningen in de woning.

Bij zeer energiezuinige woningen zijn er een aantal belangrijke aandachtspunten die minder een rol spelen bij woningbouw die aan minder strenge energie-eisen moet voldoen:

- Door een zeer goed geïsoleerde gebouwschil en geavanceerde ventilatietechnieken is de energiebehoefte voor verwarming erg laag en het effect van interne warmtebronnen en zoninstraling relatief groot.
- Door de zeer goede luchtdichtheid zijn er met name bij gebalanceerde ventilatie speciale aandachtspunten.
- De opwekking van warmte ten behoeve van warmtapwater, beslaat bij zeer energie-efficiënte woningen een groot deel van de totale warmtebehoefte.
- Hoe verhouden de hoge investeringskosten van zeer efficiënte warmte-opwekkers zich tot de lage warmtebehoefte.

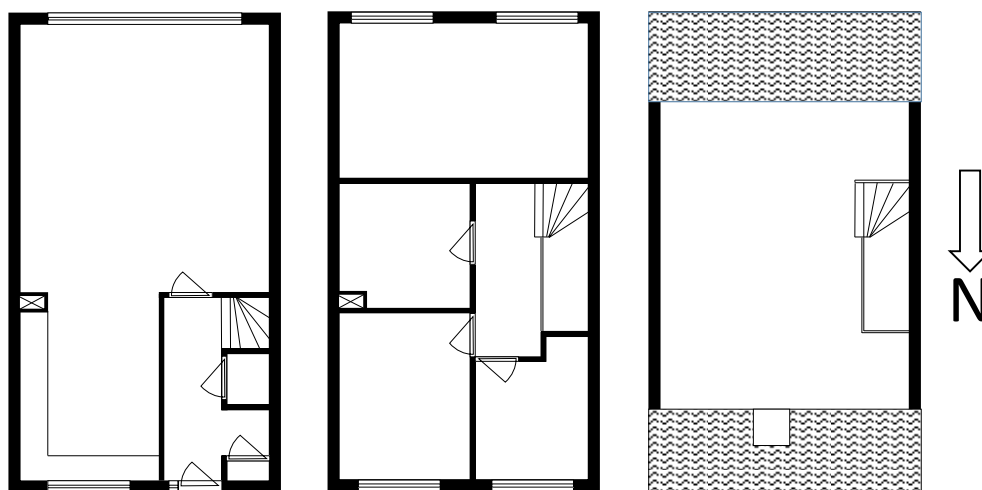
Bij het beschrijven van de technieken ligt het accent op praktische aandachtspunten die van belang zijn bij het voorlopig ontwerp van een energieconcept voor een bijna energieneutrale woning. De definitieve uitwerking van de concepten valt buiten het bestek van deze rapportage.

HOOFDSTUK 2 - UITGANGSPUNTEN

Juist bij zeer energiezuinige woningen zijn er veel mogelijkheden op het gebied van ontwerptechnische ingrepen, zoals bijvoorbeeld het beperken van schiloppervlak of het gebruik van een serre. Daarnaast zijn er elementen die op de grens liggen van bouwkundige en installatietechnische ingrepen, zoals bijvoorbeeld een klimaatraam of een uitgekiend natuurlijk ventilatiesysteem. Deze rapportage richt zich op de puur installatietechnische voorzieningen in de woning. Daarbij is, waar relevant, de referentie tussenwoning als uitgangspunt gebruikt.

2.1 Bouwkundig

Voor deze rapportage wordt de referentie tussenwoning (RVO) als basis gebruikt, zie figuur V-2.



Figuur V-2 Referentie tussenwoning.

Als de referentiewoning ontworpen zou zijn als een all-electric bijna energieneutrale woning zouden er een paar aanpassingen aan het ontwerp voor de hand liggen:

- een opstelplaats voor een warmtepomp op de begane grond;
- een tochtportaal bij de voordeur;
- compartimentering van de zolder.

Voor het realiseren van de energieneutrale woning is het noodzakelijk de energiebehoefte te minimaliseren door zeer goede isolatie en luchtdichtheid. Ten behoeve van het vaststellen en toetsen van de BENG eisen is een varianten-analyse opgesteld¹. De aanbevelingen te aanzien van de kwaliteit van de schil zijn in deze rapportage als uitgangspunten gebruikt, zie tabel V-1.

¹ Variantberekeningen voor eisen aan BENG, RVO, 2015.



	Rc/U/ZTA	Isolatie-dikte* $\lambda=0,035 \text{ W/m}\cdot\text{K}$	Opmerking
vloer	$5,0 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$	190 mm	inclusief spouwankers
wand	$6,0 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$	220 mm	spouwmuur, spouwankers
dak	$7,0 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$	255 mm	isolatie boven dakbeschot
ramen	$1,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ZTA: 0,5	driedubbel glas	
*Isolatie-dikte is ter indicatie en is gebaseerd op berekening, niet op gangbare handelsmaten. De betreffende isolatiewaarden zijn alleen in de praktijk te realiseren bij een zeer nauwgezette uitvoering.			

Tabel V-1 Uitgangspunten ten aanzien van isolatie voor zeer energiezuinige woning.

2.2 Ventilatie

Ventilatie is nodig om een gezond binnenklimaat te kunnen handhaven in de woning. Vanuit het perspectief van energiebesparing wordt gestreefd naar minimale ventilatie. Om een gezond binnenklimaat te kunnen realiseren bij een minimaal energiegebruik worden regeltechnieken gebruikt, waarbij de ventilatiehoeveelheid gebaseerd is op de CO_2 -concentratie (woonkamer, slaapkamers) en vochtgehalte (keuken, badkamer). Ongeacht vochtgehalte of CO_2 -concentratie zal altijd een minimale ventilatievolumestroom gehandhaafd moeten blijven om bijvoorbeeld emissies uit bouwmaterialen uit de woning te verwijderen.

Basis voor de ontwerp ventilatievolumestromen zijn de eisen uit het bouwbesluit. De algemene eisen aan de ventilatie van woningen zijn:

- Elke ruimte wordt geventileerd (er is toe- en afvoer van ventilatielucht).
- De afvoer van keuken, toilet, bad- en/of douchekamer, berging en opstelruimte van een wasmachine of droger is rechtstreeks naar buiten.
- In het totaal mag 50% van de totale toegevoerde ventilatielucht afkomstig zijn uit een andere ruimte. Zo kan bijvoorbeeld de badkamer geventileerd worden met de ventilatielucht die in de slaapkamers toegevoerd wordt.

De ventilatiehoeveelheid is minimaal $0,9 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 verblijfsgebied en minimaal $7 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 verblijfsruimte. Verder zijn er de eisen als in tabel V-2 gegeven.

keuken	$21 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2
toilet	$7 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2
badkamer	$14 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2
bergruimte en zolder	$7 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2
opstelplaats wasmachine < $2,5 \text{ m}^2$	$7 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2
opstelplaats wasmachine > $2,5 \text{ m}^2$	$14 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2

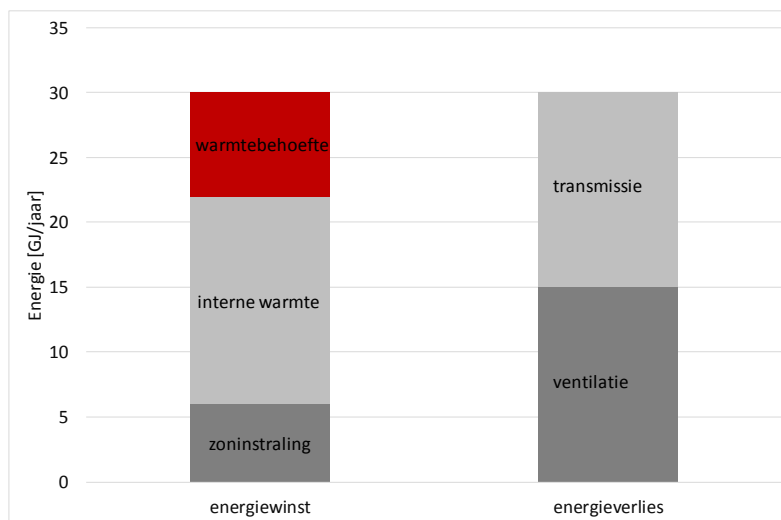
Tabel V-2 Eisen aan minimaal realiseerbare ventilatieafvoer direct naar buiten.



De aangegeven afvoerhoeveelheden moeten minimaal gerealiseerd kunnen worden. Tijdens gebruik kan de ventilatie minder zijn als deze op basis van vochtgehalte of CO₂-concentratie geregeld wordt.

2.3 Warmtebehoefte

Met EPG software is de energiebehoefte voor verwarming van de bijna energieneutrale (referentie)woning berekend op ongeveer 8 GJ. Dit is de som van de transmissieverliezen, de ventilatieverliezen (zonder warmteterugwinning), de interne warmtewinst en de warmtewinst door zoninstraling, zie Figuur 2.



Figuur V-3 Energiebalans voor verwarmen van bijna energieneutrale woning, exclusief tapwater.

In figuur V-3 is te zien dat de bijdrage van zoninstraling en interne warmte aan het compenseren van de energieverliezen door ventilatie en transmissie samen fors groter zijn dan de resterende warmtebehoefte. In tabel V-3 is de warmtebehoefte van de woning gegeven op basis van de EPG berekening. Daarbij is ook onderscheid gemaakt naar type ventilatiesysteem.

	Verwarmen	Ventilator (primair)	Totaal
balansventilatie	4662 MJ	7360 MJ	12 002 MJ
mechanische afvoer	7942 MJ	2407 MJ	10 349 MJ

Tabel V-3 Warmtebehoefte op basis van EPG berekening

De bijna energieneutrale woning wordt gekenmerkt door een lage warmtebehoefte. Door dynamische invloeden van de omgeving, zoals zoninstralingen en interne warmteproductie door mensen en apparatuur kan de warmtebehoefte binnen kort tijdsbestek sterk variëren.

Bij een buitentemperatuur van 4°C (gemiddelde buitentemperatuur in het stookseizoen) is het warmteverlies in de woonkamer/keuken ongeveer 500 Watt.



De interne warmteproductie en zoninstraling in de woonkamer/keuken varieert tussen de circa 100 Watt en 2000 Watt.

Afhankelijk van het gebruik worden slaapkamers gekenmerkt door een andere warmtebehoefte dan de leefruimten. Als slaapkamers niet als leefruimte gebruikt worden dan is daar bij de bijna energieneutrale woning zelden verwarming nodig.

Op het dynamische karakter van de warmtebehoefte kan in het ontwerp van de woning ingespeeld worden door het realiseren van thermische massa (eventueel door middel van phase changing materials, PCM's), waardoor variaties in de warmtevraag opgevangen worden en door het gebruik van snel reagerende, per vertrek regelbare, warmte-afgifte systemen.

In verband met de verschillen in warmtebehoefte van slaapzone en leefzone wordt de bijna energieneutrale woning gecompartmenteerd. De compartimentering houdt in dat leefzone en slaapverdieping in ieder geval luchttechnisch, maar eventueel ook thermisch door middel van isolatie, gescheiden zijn.

Door de verschillen in warmtebehoefte in de verschillende vertrekken in de woning is een centrale c.v. regeling niet geschikt voor de bijna energieneutrale woning. De c.v. regeling moet minimaal gebaseerd zijn op slaapzone én woonzone en bij voorkeur is er een regeling per vertrek.

Het comfort neemt toe als in de leefruimte verwarmingssystemen gebruikt worden met een hoge stralingscomponent. Vloer- en wandverwarming met zeer lage temperaturen, zoals vaak het geval is bij zeer energiezuinige woningen dragen weinig bij aan het verhogen van het comfort door de stralingscomponent in de verwarming².

Bij het bepalen van het te installeren verwarmingsvermogen is de warmteafgifte naar de belendende percelen van belang. Bij ontwerp van het verwarmingssysteem wordt er vanuit gegaan dat de verwarming in staat moet zijn de woning op te warmen als bij één van de belendende percelen de binnentemperatuur 10°C is³. Op het berekende benodigde vermogen voor de bijna energieneutrale woning van 3,3 kW komt ongeveer 1/3 voor rekening van het warmteverlies naar de belendende percelen. Het isoleren van de wanden naar de belendende percelen heeft een substantieel effect op het te installeren vermogen.

² Zie ook: Ijmker, R., *thermisch comfort bij vloerverwarming en goed geïsoleerde gevels*, Universiteit Twente, Enschede, 2015

³ Hier kunnen verschillende zekerheidsklassen voor gehanteerd worden.



2.4 Warm tapwater

De totale warmtevraag voor warmtapwater is opgebouwd uit de warmwaterbehoefte; het water dat aan het tappunt gebruikt wordt, de transportverliezen, met name doordat warmwater na het tappen afkoelt in de leiding, en indien van toepassing, de verliezen in een voorraadvat. In de bijna energieneutrale woning is de opbouw van de totale warmtebehoefte voor warmtapwater:

Nodig aan het tappunt:	7,8 GJ (volgens EPG)
Transportverliezen:	1,95 GJ
Verlies in voorraadvat :	1,5 GJ

De totale warmtebehoefte voor warmtapwater is 11,25 GJ.

Van de warmtebehoefte ten behoeve van warmtapwater is 80% ten behoeve van de douche, de rest voornamelijk voor de keuken.

De warmtapwaterbehoefte is erg afhankelijk van aantal en type gebruikers. De warmtebehoefte die berekend wordt met de EPG gaat uit van een gemiddeld verbruik, in werkelijkheid kan de warmtapwaterbehoefte daarvan fors afwijken. Bij het ontwerp van de woning is dan ook niet de EPG leidend, maar de werkelijk verwachte warmtapwaterbehoefte. Wat overigens kan leiden tot een keuze van de warmtapwaterbereider die in de EPG minder goed gewaardeerd wordt⁴.

Bij warm tapwater moet, in verband met preventie van de uitgroei van Legionella, aan het tappunt een temperatuur gerealiseerd moet kunnen worden van 55°C, terwijl de gewenste temperatuur voor bijvoorbeeld douchen maximaal 40°C is. De hoge geëiste temperatuur zorgt er voor dat de bij gebruik van een warmtepomp de opwekking van warmte ten behoeve van warm tapwater met een relatief laag rendement gebeurt.

Speciaal aandachtspunt bij warmtapwater is het benodigde vermogen. Bij gelijktijdig gebruik van een douche en het keukentappunt is al een vermogen van 38 kW nodig. Het benodigde vermogen kan verminderd worden door het toepassen van close-in boiler in de keuken, dan is (voor de douche) 21 kW nodig. Met duurzame technieken zijn dergelijke grote vermogens vrijwel niet te realiseren. Vandaar dat meestal gebruik gemaakt wordt van een voorraadvat. De inhoud van het voorraadvat is afhankelijk van het veronderstelde warmtapwaterverbruik, met name door de douche. Voor de referentiewoning, geschikt voor een gezin van vier personen is een voorraadvat van 200 liter nodig.

Ook de vaatwasmachine en wasmachine gebruiken (elektrisch opgewarmd) warm water, alhoewel ze doorgaans niet op de warmwatervoorziening van de woning aangesloten zijn. De warmwaterbehoefte van deze twee apparaten samen is ongeveer 1,5 GJ per jaar.

⁴ Irene van Veelen, *efficiëntie van warmtapwater*, ISSO, presentatie op bijeenkomst van innovatiegroep sanitaire technieken, Woerden, 2016



Het (koude en warme) afvalwater dat de woning verlaat via het riool is de grootste thermisch lek in de woning. Behalve de douchewarmtewisselaar zijn er (nog) geen marktrijpe technieken die hier iets aan kunnen doen.

Een product dat nu in de experimentele fase is, is de Solar Freezer. Deze bestaat uit een gecombineerd systeem van zonnecollectoren, een warmtepomp en een flexibele rubberen 'bufferzak'. Deze zak past in de kruipruimte van elk huis en wordt gevuld met tapwater. Zonnecollectoren en warm afvalwater zorgen voor de verwarming van dit water. De warmtepomp is gekoppeld aan de bufferzak en onttrekt de warmte aan het water, dat afkoelt tot -1°C en hierdoor verandert in schaafijs⁵.

⁵ www.solarfreezer.nl



HOOFDSTUK 3 - VENTILEREN

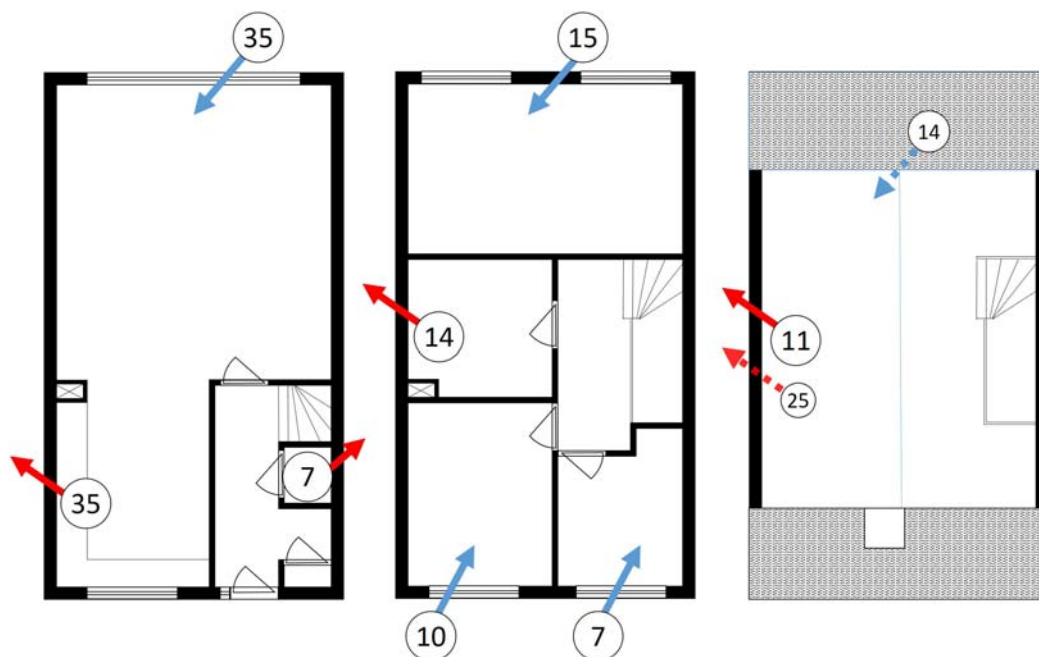
Op basis van de ventilatie-eisen wordt een ventilatiebalans voor de woning opgesteld. De toevoer van ventilatielucht en de afvoer van ventilatielucht moeten per ruimte en voor de hele woning in balans zijn. Daarnaast is er, gezien de verschillen in warmtebehoefte, een voorkeur voor de begane grond (woonkamer/keuken) als apart ventilatiecompartiment. De zolder is in principe een bergruimte. Omdat een zolder vaak verbouwd wordt tot verblijfsruimte wordt er bij de ventilatievoorziening rekening gehouden worden met het gebruik van de zolder als verblijfsruimte. Daarvoor moeten de volgende voorzieningen getroffen worden:

- De afvoercapaciteit van de zolder moet verhoogd kunnen worden tot 25 dm³/s
- Er moet een aanvullende ventilatielucht toevoer mogelijkheid zijn van 14 dm³/s

De uitgangspunten voor het ontwerp en het resulterende ontwerp voor de ventilatiebalans van de referentiewoning zijn gegeven in tabel V-4 en Figuur V-3. Deze extra eisen ten behoeve van het gebruik van de zolder als verblijfsruimte zijn in Tabel V-4 tussen haakjes aangegeven en in de Figuur V-4 gestippeld.

	Oppervlak [m ²]	eisen		ontwerp		
		Afvoeren naar buiten	Toevoeren	Afvoeren naar buiten	toevoer direct	via
keuken/woonkamer	39	21	35	35	35	
toilet		7	7	7		7
badkamer		14	14	14		14
slaapkamer 1	16		15		15	
slaapkamer 2	10		10		10	
slaapkamer 3	6		7		7	
zolder		7	7	11 (25)	(14)	11
Totaal		49	95	67 (81)	67 (81)	32
capaciteit (≥ 70%)	70% * 95 = 67			67, akkoord		
via ruimte (≤ 50%)	50% * 95 = 48			32, akkoord		

Tabel V-4 Ventilatieberekening (volumestromen in dm³/s).



Figuur V-4 Ventilatiebalans van de referentiewoning

De gegeven ventilatiebalans kan zowel betrekking hebben op balansventilatie als op mechanische afvoer met natuurlijke toevoer.

De gegeven ventilatievolumestromen zijn de ontwerpwaarden. Tijdens het gebruik zijn de volumestromen anders als de ventilatie in verblijfsruimtes geregeld wordt op CO₂-concentratie en vochtgehalte.

Voor de referentiewoning is dus een ventilatiesysteem nodig met een minimale totale capaciteit van 81 dm³/s oftewel 292 m³/uur. Hierin is extra capaciteit opgenomen ten behoeve van bestemming van de zolder als verblijfsruimte.

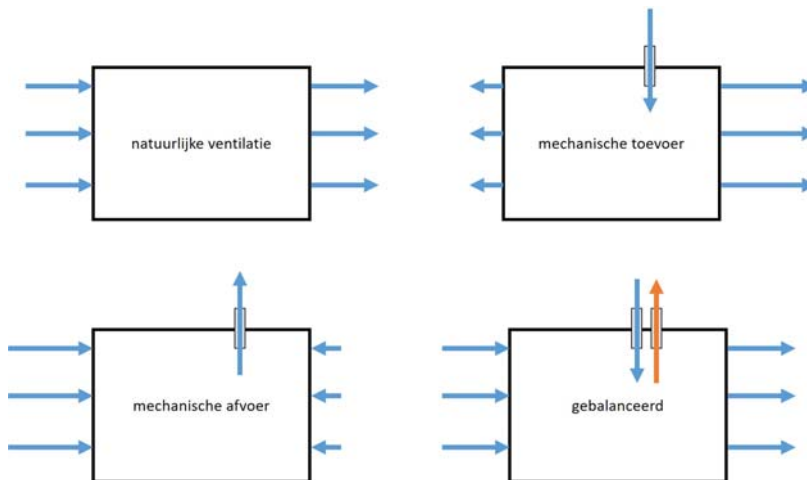
3.1 Infiltratie

Infiltratie is de luchtuitwisseling tussen binnen en buiten door kieren en naden. De infiltratie wordt bepaald door de luchtdoorlatendheid van de schil van een gebouw. De luchtdoorlatendheid van een gebouw komt tot uitdrukking in de specifieke luchtdoorlatendheid, de $q_{v,10}$ in dm³/s·m². De $q_{v,10}$ is de lucht volumestroom die ontstaat bij een drukverschil van 10 Pa over de gevel, uitgedrukt in liter per seconde per m² vloeroppervlak (dm³/s·m²). Een $q_{v,10}$ van 0,4 dm³/s·m² is het niveau van de huidige nieuwbouwwoningen en wordt gezien als een goede luchtdichtheid. Een $q_{v,10}$ van 0,4 dm³/s·m² houdt voor de referentiewoning een totale lucht volumestroom van ongeveer 50 dm³/s in. De orde van grootte van de lucht volumestroom door infiltratie is dus min of meer gelijk aan de lucht volumestroom die door het ventilatiesysteem verzorgd wordt (67 dm³/s). Bij ventilatiesystemen die geregeld worden op CO₂ en vochtgehalte zal een groot deel van de tijd de lucht volumestroom door infiltratie groter zijn dan de lucht volumestroom door het ventilatiesysteem.

Bij de bijna energieneutrale woning wordt gestreefd naar een $q_{v,10}$ van 0,15 dm³/s·m². Een $q_{v,10}$ van 0,15 dm³/s·m² komt overeen met een lucht volumestroom van 19 dm³/s.

Het realiseren van dergelijke goede luchtdichtheid vraagt een nauwgezette detaillering en realisatie⁶, een normale brievenbus in de voordeur is dan bijvoorbeeld niet mogelijk.

De infiltratie is bij systemen met mechanische afvoer en natuurlijke toevoer minder dan bij gebalanceerde ventilatie omdat er bij mechanische afvoer met natuurlijke toevoer een onderdruk in een woning gecreëerd wordt. Hierdoor is het drukverschil over de gevels kleiner. Bij gebalanceerde ventilatie is de druk in de woning niet afhankelijk van het ventilatiesysteem, waardoor het drukverschil over de gevels groter is, dit is schematisch geïllustreerd in figuur V-5.



Figuur V-5 Drukevenwicht bij winddruk op de gevels bij de verschillende ventilatiesystemen (drukeffect van thermische trek is hier niet in betrokken).

In NEN 8088 komt bovenstaande tot uiting in correctiefactoren op de specifieke luchtdoorlatendheid, zie tabel V-5.

	Aanduiding	Correctie-factor	q_v [dm ³ /s] bij $q_{v,10}$ van 0,15 dm ³ /s·m ²
natuurlijke toe- en afvoer	A	0,80	15
mechanische toevoer, natuurlijke afvoer	B	0,85	16
natuurlijke toevoer en mechanische afvoer	C	1,00	19
gebalanceerde ventilatie	D	1,15	22

Tabel V-5 Correctiefactor voor invloed van de ventilatievoorziening op (specifieke) luchtdoorlatendheid.

⁶ Zie SBR infoblad luchtdicht bouwen, www.sbrcurnet.nl



3.2 Ventilatiesystemen

Een volledig natuurlijke ventilatiesysteem wordt bij nieuwbouwwoningen niet toegepast. Ook systemen met mechanische toevoer en natuurlijke afvoer worden nauwelijks toegepast. Systemen met mechanische afvoer en natuurlijke toevoer en gebalanceerde ventilatiesystemen zijn de gebruikelijke systemen bij woningen.

3.2.1 *Mechanische afvoer, natuurlijke toevoer*

Er wordt lucht afgezogen in de toiletten, de badkamer en de keuken. Verse lucht wordt via gevelroosters toegevoerd. De afvoerlucht wordt geregeld op basis van vochtgehalte en de toevoerlucht wordt geregeld op basis van CO₂-concentratie. De gevelroosters zijn hiervoor uitgerust met regeling.

De warmte uit de afgezogen lucht kan niet overgedragen worden op de toegevoerde lucht, zoals bij gebalanceerde ventilatie. Warmteterugwinning uit de ventilatielucht kan in dit geval met een ventilatiewarmtepomp plaats vinden.

Bij directe toevoer van lucht vanuit buiten in een verblijfruimte is er een risico op discomfort door tocht. Met name in een woonkamer verdient het ontwerp van de toevoerroosters speciale aandacht. Door de ventilatietoevoer direct onder het plafond te plaatsen zorgt het coanda-effect er voor dat de lucht goed over de ruimte verspreid wordt. Er zijn ook andere mogelijkheden om de discomfort ten gevolge van de buitenlucht toevoer te voorkomen:

De lucht door het rooster wordt elektrisch voorverwarmd als de buitentemperatuur lager is dan 12°C (Duco).

Het ventilatierooster wordt achter de radiator geplaatst (Easy-Vent). Het huidige beschikbare systeem is (nog) niet zelfregelend of CO₂ geregeld.

Bij de eisen voor bijna energieneutrale gebouwen (BENG) worden ook eisen gesteld aan de energiebehoefte van het gebouw. Bij de indicator voor de energiebehoefte van het gebouw wordt het effect van warmteterugwinning op ventilatielucht betrokken, zonder dat bijvoorbeeld het extra elektriciteitsverbruik daarin meegenomen wordt. Ook als op een ander manier de warmte uit de ventilatielucht onttrokken wordt (bijvoorbeeld met een warmtepomp) komt dat niet tot uiting in deze indicator. Het wordt dan vrijwel onmogelijk om systemen met mechanische afvoer en natuurlijke toevoer te realiseren.

3.2.2 *Gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning*

Bij gebalanceerde ventilatiesystemen is het gebruikelijk om ventilatielucht af te zuigen in badkamer, toiletten en de keuken en ventilatielucht toe te voeren in de verblijfruimtes. De bijna energieneutrale woning is voorzien van een CO₂-regeling. Voor een CO₂-regeling per verblijfsruimte is bij een gebalanceerd ventilatiesysteem veel kanalenwerk nodig. Een variant waarbij minder kanalen nodig zijn, is een regeling op basis van twee zones: de slaapverdieping en de woonverdieping.

In de energieneutrale woning is een normale wasemkap niet zonder meer toepasbaar. Door de geringe luchtdoorlatendheid kan de afgevoerde lucht niet van buiten aangevuld worden. Hiervoor worden de volgende oplossingen gesuggereerd:

- Gebruik een recirculatie wasemkap. Door middel van een actief koolstoffilter worden geurtjes verwijderd. Er zijn koolstoffilters die door de gebruiker zelf (in de oven) geregenereerd kunnen worden en zo een gebruiksduur hebben van



maximaal 3 jaar. Nadeel van deze oplossing is dat vocht niet uit de woning verwijderd wordt.

- Gebruik een wasemkap met aanvullend te openen ventilatievoorziening in de keuken. Bij voorkeur is de regeling van deze extra ventilatievoorziening geautomatiseerd. Als de regeling niet geautomatiseerd is moet het de bewoners duidelijk zijn dat bij gebruik van de wasemkap deze ventilatievoorziening open moet staan.
- Gebruik een motorloze wasemkap, aangesloten op het ventilatiesysteem met speciale voorzieningen om de effectiviteit van de afzuiging te vergroten door gedeeltelijke recirculatie (ATAG, Novy) en met voorzieningen voor een verbeterde vetafscheiding in de wasemkap (Berbel). Nadeel van deze oplossing is een sterkere vervuiling van kanalen en warmteterugwinunit.

Bij lage buitentemperaturen is er risico op bevriezing in de warmtewisselaar van de warmteterugwinunit. Om dit te voorkomen is een warmteterugwinunit uitgerust met een vorstbeveiliging. Deze beveiliging kan gebaseerd zijn op elektrische verwarming van de warmtewisselaar. Het verbruik van deze vorstbeveiliging is ongeveer 200 kWh per jaar en wordt (nog) niet betrokken in de EPG berekening. Als de vorstbeveiliging van een toestel gebaseerd is op een regeling waarbij bij gevaar voor bevriezing van de warmtewisselaar er meer ventilatielucht afgevoerd wordt dan er toegevoerd wordt is deze, vanwege de goede luchtdichtheid van de woning, niet toepasbaar in de bijna energieneutrale woning.

Eenzijds zorgt het gebalanceerde ventilatiesysteem energiebesparing door de warmte uit de afgevoerde ventilatielucht te onttrekken. Anderzijds is er extra energiegebruik door ventilatoren, door extra infiltratie (zie paragraaf 3.1) en door de vorstbeveiliging.

Veel mensen slapen graag met de ramen open, ook bij lage buitentemperaturen. Ook bij een gebalanceerd ventilatiesysteem moet er dus van uit worden gegaan dat in slaapkamers de ramen open staan.

3.2.3 Lokale balansventilatie met warmteterugwinning

Lokale systemen bestaan uit een gevelunit waarmee zowel toevoer als afvoer ventilatielucht plaats vindt. De unit is uitgerust met een warmtewisselaar. In sommige gevallen kan de unit ook aangesloten worden op het c.v.-systeem en als radiator gebruikt worden (Climarad).

De ventilatiebalans als gegeven in Figuur 3 is ook van toepassing op een systeem met lokale warmteterugwinning. De afvoer (rode pijlen) wordt geregeld op CO₂ of vochtgehalte. Als de afvoer naar buiten teruggeregeld kan worden, bijvoorbeeld omdat het vochtgehalte in de lucht laag is, zal de lokale balansventilatie meer van de ventilatie voor zijn rekening kunnen nemen. Dit vergt een systeem waarin de afvoer direct naar buiten en het lokale gebalanceerde ventilatiesysteem regeltechnisch aan elkaar gekoppeld zijn. De warmteterugwinning bij lokale units heeft dus uiteindelijk alleen betrekking op dat deel van de ventilatiebehoefte waarin niet voorzien wordt door vereiste afvoer in keuken, toilet en badkamer. Omdat bij een woning het verschil tussen de noodzakelijke afvoer in keuken, toilet en badkamer (bij elkaar 42 dm³/s) en de totale ontwerp ventilatiebehoefte (67 dm³/s) niet zo groot is, is het nut van lokale ventilatieunits met warmteterugwinning beperkt. In andere situaties, waarin de noodzakelijke afvoer veel kleiner is dan de ontwerp ventilatiebehoefte (zoals bij utiliteitsgebouwen) of als er bouwtechnisch weinig mogelijkheden zijn voor een centrale unit (zoals bij renovatie) is de lokale warmte unit een optie.



Lokale balansventilatiesystemen zijn meestal uitgerust met een voorziening om condens en bevrozing in de warmtewisselaar te voorkomen. Als deze voorziening gebaseerd is op een onbalans in het ventilatiesysteem is dit systeem niet geschikt voor de bijna energieneutrale woning.



HOOFDSTUK 4 - WARMTE-AFGIFTE

Voor het verwarmen van de bijna energieneutrale woning wordt gebruik gemaakt van afgiftesystemen met lage temperaturen of, meestal als reservecapaciteit, elektrische weerstandsverwarming. Gezien het voorgaande wordt in de bijna energieneutrale woningen een snel reagerend afgiftesysteem gebruikt. Bij watervoerende systemen wordt uitgegaan van een warmtepomp als opwekker. Voor de maximale aanvoertemperatuur van het c.v.-water wordt uitgegaan van 45°C. De in aanmerking komende afgiftesystemen zijn dan:

- snel reagerende vloerverwarming;
- snel reagerende wandverwarming;
- luchtverwarming.

Bij systemen op basis van elektrische weerstandsverwarming valt het afgiftesysteem meestal samen met de opwekker.

4.1 Radiatoren

Bij lagere aanvoertemperaturen is het benodigde radiatoroppervlak groter dan bij hogere temperaturen. Hoe kleiner de uitkoeling ten opzichte van 45°C, hoe kleiner de radiator gekozen kan worden. De benodigde volumestroom wordt dan juist groter. Bij een maximale aanvoertemperatuur van 45°C zijn de temperatuur-regimes volgens Tabel V-6 mogelijk.

	enkelpaneel	dubbelpaneel	qv per 100 W [l/s]
45/40	580 W/m ²	850 W/m ²	0,048
45/35	490 W/m ²	710 W/m ²	0,024
45/30	390 W/m ²	570 W/m ²	0,016
45/25	270 W/m ²	400 W/m ²	0,012

Tabel V-6 Indicatief vermogen en benodigde volumestroom bij LT radiatoren (ruimtetemperatuur 20°C)

Radiatoren met een geringere waterinhoud (bijvoorbeeld radiatoren met een enkel paneel) reageren sneller dan radiatoren met een grotere waterinhoud.

Voorbeeld

Het totale benodigde verwarmingsvermogen van het warmte-afgifte systeem in de woonkamer/ keuken is ongeveer 1000 W. Op basis van een verwarmingssysteem met als temperatuur regime 45/35 is de benodigde oppervlakte van een enkelpaneels radiator ongeveer 2 m². Voor de grote slaapkamer is een vermogen nodig van 500 W. De oppervlakte van de radiator is ongeveer 1 m².

4.2 Wandverwarming

Wandverwarming kan gebruikt worden als het oppervlak van radiatoren bijvoorbeeld te groot zou worden. Uit veiligheidsoverwegingen wordt aanbevolen om de aanvoertemperatuur niet hoger dan 40°C te kiezen.



Wandverwarming kan uitgevoerd worden in een lichte variant, een middelzware variant of een zware variant. Voor de bijna energieneutrale woning wordt de lichte variant gebruikt.

Voor de wandverwarming plus eventuele afwerklaag is een dikte nodig van 3 à 4 cm.

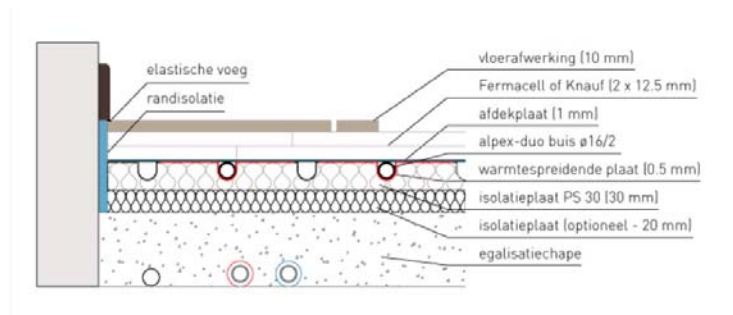
De wand mag maximaal voor 30% afgedekt worden door meubels e.d. De warmteafgifte door de wandverwarming is afhankelijk factoren als watertemperaturen, de buisafstand en de afwerking van de muur. Als indicatieve waarde kan een afgifte van 140W/m² in de leefzone aangehouden worden.

Het totale benodigde verwarmingsvermogen van het warmte-afgifte systeem in de woonkamer/ keuken is ongeveer 1000 W. Er is circa 7 m² wandverwarming nodig. Voor de grote slaapkamer is een vermogen nodig van 500 W. Er is circa 3,5 m² wandverwarming nodig.

Als de wandverwarming aangebracht wordt in de woningscheidende wand is het van belang dat de woningscheidende wand geïsoleerd is.

4.3 Vloerverwarming

De vloerverwarming die weggewerkt is in een cementdekvloer is, vanwege de grote massa, niet geschikt voor de bijna energieneutrale woning. Droge vloerverwarmingssystemen en de dunne capillaire vloerverwarmingssystemen zijn wel geschikt. Bij droogbouwsystemen worden de leidingen bevestigd aan, op of in isolatieplaten die vaak ook nog voorzien zijn van warmte spreidende, metalen platen. De bovenzijde wordt afgewerkt met bijvoorbeeld twee lagen gipsvezelplaat. Een capillaire systeem bestaat uit een dicht vertakt netwerk van verdeelbuizen en dunne buisjes. Hierdoor kan dit systeem direct in een egalisatievloer opgenomen worden.



Figuur V-6 Vloerverwarming droog systeem

De te realiseren warmte-afgifte is circa 100 W/m² bij een maximale vloertemperatuur van 27°C. Er zijn beperkingen ten aanzien van de te gebruiken afwerkvloeren. Voor de opbouw van het vloerverwarmingssysteem is een dikte van 5 à 10 centimeter nodig.

4.4 Plafondverwarming

In woningbouw is plafondverwarming, vanwege de doorgaans kostbare benodigde stralingspanelen ongebruikelijk. Met capillaire matten is plafondverwarming ook in de woningbouw een zinvolle optie. Deze matten worden tegen het plafond verlijmd en

kunnen afgewerkt worden met kleefgipts. Het voordeel hiervan is dat er geen beperkingen zijn ten aanzien van de te realiseren vloerwafwerking. Voor de bijna energieneutrale woning zal tussen de constructieve vloer en de plafondverwarming een isolatieplaat aangebracht moeten worden zodat de warmte niet onbedoeld wordt afgestaan aan de er bovenliggende ruimten. Als er geen isolatie gebruikt wordt kunnen in de constructievloer geen waterleidingen weggewerkt worden in verband met de opwarming van de waterleidingen in de vloer en het daarmee gepaard gaande gevaar voor Legionella-uitgroei.



Figuur V-7 Aanbrengen van capilaire verwarmingsmatten tegen het plafond (BioClima).

4.5 Luchtverwarming

Bij de bijna energieneutrale woning moet het luchtverwarmingssysteem bij voorkeur per ruimte regelbaar zijn, maar minimaal is er onderscheid tussen leefzone en slaapzone. Als de verwarming per ruimte regelbaar is wordt de lucht decentraal verwarmd. Door de lage watertemperaturen is decentraal verwarmde lucht in combinatie met een watergevoerd c.v. systeem niet goed mogelijk. Als er onderscheid gemaakt wordt tussen twee zones is centraal verwarmde lucht mogelijk. Centraal verwarmde luchtverwarming is te combineren met lage temperatuur verwarming.

Decentrale luchtverwarming is mogelijk met elektrisch elementen. Gezien het slechte primaire rendement van elektrisch verwarmen worden elektrische elementen alleen gebruikt als de verwacht inzet zeer gering is, bijvoorbeeld als reservecapaciteit bij zeer lage buitentemperaturen.

Bij de voor de ventilatie benodigde luchthoeveelheden is de capaciteit van de verwarming door lucht relatief klein. Uitgaande van een inblaastemperatuur die maximaal 20°C hoger is dan de ruimtetemperatuur (maximaal haalbaar als er gebruik wordt gemaakt van een warmtepomp) is de capaciteit van de luchtverwarming gegeven in Tabel V-7.



	debiet	vermogen bij $dT=20^{\circ}\text{C}$
woonkamer/keuken	$35 \text{ dm}^3/\text{s}$	900 W
slaapkamer 1	$15 \text{ dm}^3/\text{s}$	390 W

Tabel V-7 Maximaal vermogen van luchtverwarming

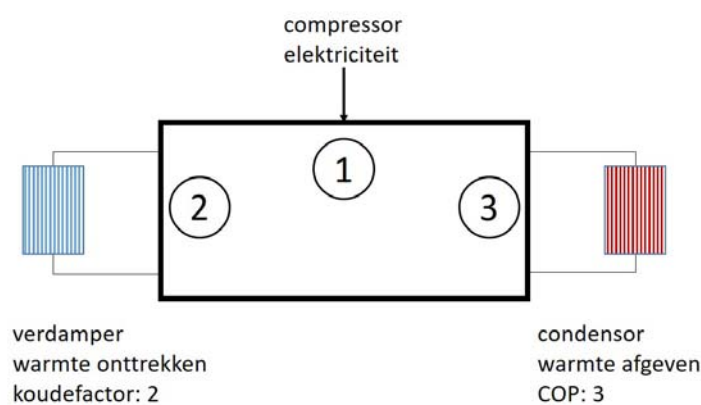
Het vermogen voldoet daarmee net niet om bij ontwerpcondities voldoende warmte te kunnen leveren. Het grootste deel van de tijd zal een luchtverwarmingssysteem op basis van de normale ventilatiedebieten echter voldoen.

HOOFDSTUK 5 - WARMTE-OPWEKKING

Als opwekker is met name de warmtepomp geschikt. In dit hoofdstuk worden de verschillende warmtepompconfiguraties beschreven.

5.1 Warmtepomp

Het rendement van de warmtepomp wordt uitgedrukt met de coëfficiënt of performance (COP). De COP is de geleverde warmte gedeeld door de gebruikte elektrische energie. De hoeveelheid onttrokken koude wordt uitgedrukt met de koudefactor. De koudefactor is gelijk aan de COP-1. De energiebalans van een warmtepomp is gegeven in Figuur V-8.



Figuur V-8 Warmtepomp met een energiebalans (energie-eenheden in de cirkel) bij een COP van 3.

Het theoretisch rendement van een warmtepomp is:

$$COP = \eta * \frac{T_{cond}}{T_{cond} - T_{verd}}$$

Waarin

η	:	systeemrendement	[-]
COP	:	Coëfficiënt of performance	[-]
T_{cond}	:	temperatuur aan de condensor	[K]
T_{verd}	:	temperatuur aan de verdamer	[K]

Afhankelijk van vele factoren, waaronder het gebruikte werkmiddel, is het systeemrendement η tussen de 50% en 70%.

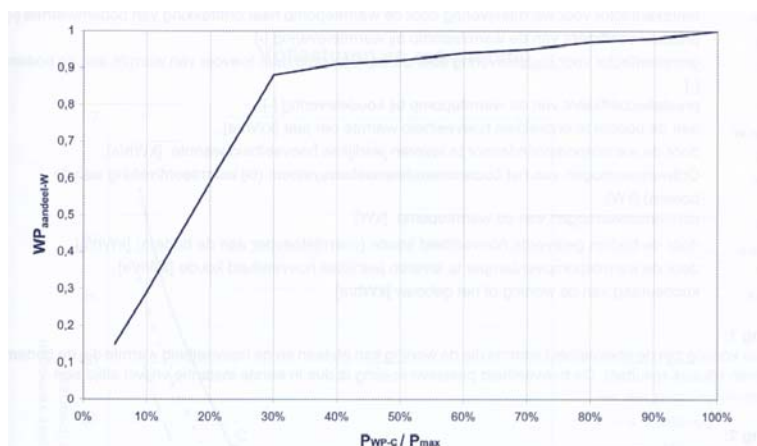
In Tabel V-8 zijn de in de EPG berekeningen te hanteren rendementen bij gebruik van verschillende warmtebronnen gegeven.



	<35°C	<45°C
Grondwater	4,4	4,1
Bodem	5	4,6
Buitenlucht	3,8	3,5
Ventilatielucht ⁷	5,4	5,1

Tabel V-8 Indicatieve gemiddelde COP van warmtepompen met verschillende bronnen.

Een warmtepomp is het meest rendabel als de warmtepomp veel vollasturen heeft. Als het condensorvermogen (warmtevermogen) van de warmtepomp gelijk is aan het benodigde piekvermogen, zal het aantal het aantal vollasturen erg laag zijn. Met een condensorvermogen van circa 30% van het ontwerp warmtevermogen is de warmtepomp doorgaans nog in staat om 90% van de warmtebehoefte te leveren, zie Figuur V-9. Er moet dan een aanvullende voorziening zijn om onder extreme condities voldoende warmte te kunnen leveren.



Figuur V-9 Relatie tussen bijdrage van de warmtepomp aan de totale warmtebehoefte en het opgesteld vermogen (ISSO publicatie 73).

Een warmtepomp wordt meestal gecombineerd met een voorraadvat. De opstelruimte voor Bij voorkeur is de opstelruimte gesitueerd op de begane grond. In de referentiewoning is hiervoor overigens geen ruimte beschikbaar.

Er zijn verschillende mogelijkheden ten aanzien van de bron van de warmtepomp. Deze worden hier uitgebreider beschreven.

5.1.1 Horizontale bodemwarmtewisselaar

Voor horizontale bodemwarmtewisselaars is een diepte van tot 1,2 tot 2 meter gebruikelijk. Horizontale bodemwarmtewisselaars zijn meestal vrij eenvoudig aan te leggen. De warmte-onttrekking aan de grond is gegeven in Tabel V-9.

⁷ Rendement van de warmtepomp op ventilatielucht voor verwarmen is niet gegeven in de EPG, deze is hier bepaald op basis van een berekening.



bodem	Onttrekkingsvermogen
droge zandgrond	10-15 W/m ²
natte zandgrond	15-20 W/m ²
droge Leemgrond	20-25 W/m ²
natte leemgrond	25-30 W/m ²
grondwatervoerende grond	30-35 W/m ²

Tabel V-9 Onttrekkingsvermogen horizontale bodemwarmtewisselaars.

Voorbeeld

Als bij de referentiewoning uitgegaan wordt van een tuin met een diepte van 6 meter, is in het totaal 75 m² beschikbaar waar eventueel grondwarmtewisselaars aangelegd kunnen worden. Uitgaande van een onttrekkingsvermogen van 20 W/m² is het mogelijk om 1,5 kW te onttrekken aan de bodem. Bij een COP van 4,6 is er 1,9 kW aan verwarmingsvermogen beschikbaar. Hiermee kan circa XX (90%) van de warmtevraag van de woning gedekt worden.

5.1.2 Verticale bodemwarmtewisselaar

Verticale bodemwarmtewisselaars worden in de grond gebracht met behulp van een boorinstallatie. Het (gemiddelde) onttrekkingsvermogen van een verticale bodemwarmtewisselaar is afhankelijk van de volgende factoren:

- het aantal equivalente vollasturen van de warmtepomp;
- de verhouding tussen toegevoerde warmte en onttrokken warmte;
- bodemsoort;
- grondwaterstroming;
- vulmateriaal van de boorbuis;
- mediumtemperatuur;
- type bodemwarmtewisselaar;
- opstellingsvorm van meerdere verticale bodemwarmtewisselaars;
- onderlinge afstand van meerdere verticale bodemwarmtewisselaars.

Het onttrekkingsvermogen kan door de wisselwerking tussen deze factoren een grote spreiding vertonen van 5 W/m tot 65 W/m. De twee belangrijkste bepalende factoren zijn:

- aantal equivalente vollasturen, waarbij meer vollasturen gepaard gaan met een lager specifiek onttrekkingsvermogen.
- de mate waarin de bron geregenereerd wordt door in de zomer warmte te leveren aan de bron door de woning (al dan niet passief) te koelen. Hoe beter de bron geregenereerd wordt, hoe hoger het specifieke onttrekkingsvermogen.

Juist op deze twee aspecten kan in het ontwerp veel invloed uitgeoefend worden.

Ten behoeve van de verticale bodemwarmtewisselaar zal een sondering plaats moeten vinden waaruit de gesteldheid van grond en grondwater zal moeten blijken. De diepte van de bodemwarmtewisselaar is afhankelijk van de gebruikte boortechniek tussen de 40 meter en 500 meter.



Voorbeeld

Het totale benodigde verwarmingsvermogen voor de referentiewoning is 3,3 kW. De veronderstelde COP is 4,6. De aan de bron te onttrekken warmte is dan 2,6 kW. Bij een onttrekkingsvermogen van 30 W/m is de totale lengte van de verticale bodemwarmtewisselaar 86 meter. Op basis van de bodemgesteldheid kan gekozen voor de brondiepte. Er worden bijvoorbeeld twee lussen met een diepte van 45 meter gemaakt.

5.1.3 Open bron

Een open bron gebruikt grondwater als bron voor de warmtepomp. In verband met mogelijke vervuilingen wordt het water van de open bron vrijwel nooit meteen over de verdampers van de warmtepomp gepompt. De meeste warmtepompfabrikanten eisen dat tussen open bron en de warmtepomp een scheidingswisselaar komt. De volgende twee typen open bronnen methoden worden onderscheiden:

- Doorstroomsysteem. Er zijn twee bronnen zodanig gesitueerd dat de onderlinge beïnvloeding klein is. Aan één bron wordt altijd water onttrokken, aan de andere bron wordt water toegevoerd. Het doorstroomsysteem kan gebruikt worden als de doorstroming van het grondwater voldoende is. Om dit te kunnen bepalen is bodemonderzoek vereist.
- Warmte/koude opslag. In de zomer wordt grondwater uit de ene bron onttrokken om het gebouw te koelen en (opgewarmd) in de andere bron terug te voeren. In de winter wordt grondwater uit de opgewarmde bron onttrokken. Hiermee wordt het gebouw via een warmtepomp verwarmd. Het uitgekoelde grondwater wordt in de andere bron gevoerd. Een speciale uitvoering van de warmte/koude opslag is een monobron. Bij een monobron liggen de onttrekking en de toevoer naar de bodem boven elkaar, er is dus maar één bron nodig. De bodemopbouw moet hiervoor geschikt zijn. Een monobron kan toegepast worden bij een benodigd verwarmingsvermogen tot circa 200 kW.

Een warmte/koude opslag vooral geschikt voor grotere systemen. In het geval van een collectieve bron voor meerdere woningen kan warmte/koude opslag een optie zijn. Bij een warmte/koudeopslag is het essentieel dat de warmte-onttrekking aan de bodem (in het stookseizoen) en de warmtetoevoer (bij koeling) in evenwicht is.

5.1.4 Buitenlucht

Bij gebruik van buitenlucht als bron voor de warmtepomp wordt er warmte aan de buitenlucht onttrokken. Doordat een lage buitentemperatuur met een daarbij horend lager rendement van de warmtepomp samenvalt met de grootste warmtevraag is de COP van de lucht/water warmtepomp lager dan een warmtepomp met de bodem als bron. De buitenlucht kan als bron gebruikt worden tot een buitentemperatuur van circa -15°C. De gemiddelde COP is ongeveer 3,5.

Bij de selectie van de warmtepomp moet gelet worden op het nominale vermogen. Het door de fabrikant opgegeven vermogen van de lucht/water warmtepomp is vaak van toepassing bij een buitentemperatuur van 7°C. De warmtepomp moet het maximale vermogen echter kunnen leveren bij een temperatuur van -10°C. Een temperatuur waarbij de het rendement relatief laag is.

De buitenunit is voorzien van een ventilator. Er moet rekening gehouden worden met geluidsproductie door de buitenunit.



5.1.5 Ventilatielucht

Afgevoerde ventilatielucht kan gebruikt worden als bron voor een warmtepomp. De afgevoerde ventilatielucht wordt door de verdamper van de warmtepomp afgekoeld tot een temperatuur van circa 5°C. Het voordeel is dat de temperatuur van de afgevoerde lucht altijd rond de 20°C zal zijn. Bij deze temperatuur kan bij een hoog rendement warmte gemaakt worden door de warmtepomp. Een nadeel van ventilatielucht als bron is dat het aanbod van ventilatielucht variabel en beperkt is. Met name als gebruik gemaakt wordt van geavanceerde regeling op de ventilatielucht, zoals CO₂-detectie, vocht of aanwezigheidsdetectie, varieert de hoeveelheid afgevoerde ventilatielucht en dus het beschikbare verwarmingsvermogen. De ventilatiewarmtepomp is dan ook onvoldoende voor de hele warmtevoorziening van de woning, zodat (elektrische) bijstook noodzakelijk is.

Voorbeeld

In de referentiewoning wordt 35 dm³/s afgevoerd. Het onttrokken vermogen is bij een gemiddelde temperatuur van de afgevoerde lucht van 19°C :

$(19^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C}) \cdot 0,035 \text{ (m}^3/\text{s}) \cdot 1200 \text{ (W/m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C)} = 588 \text{ Watt.}$

Bij een COP van 5,1 is de te leveren warmte $588 \cdot 5,1 / (5,1 - 1) = 731 \text{ W}$

5.1.6 Afvalwater

Het gebruik van afvalwater als bron voor een warmtepomp blijkt in de praktijk lastig te realiseren omdat de kosten van de benodigde voorzieningen om dit te realiseren niet in verhouding staan tot de opbrengst. Er zijn dan ook nog geen systemen op de markt die afvalwater als bron gebruiken, wel worden er experimenten uitgevoerd. Aangezien afvalwater de grootste thermische lek in de woning is, ligt het voor de hand dat er systemen ontwikkeld worden die hier gebruik van maken.

Gemiddeld verbruikt een huishouden (vier personen) circa 500 liter drinkwater per dag. Hiervan is circa 140 liter warmtapwater (van 60°C) en circa 140 liter voor het toilet (afvalwater van het toilet beschouwen we als niet goed bruikbaar voor warmteterugwinning). We gaan er van uit dat het drinkwater in de woning opwarmt tot gemiddeld 15°C. Gemiddeld zorgt dit voor een afvalwaterstroom van 0,25 liter per minuut met een temperatuur van 32°C. De warmtepomp koelt het afvalwater af tot een temperatuur van 5°C. Het door een door de warmtepomp (COP 5) geleverd continu-warmtevermogen van circa 700 Watt. Hiermee kan 60% van de warmtevraag van de bijna energieneutrale woning gedekt worden.

5.2 Weerstandsverwarming

Elektrische weerstandsverwarming wordt gekenmerkt door een laag (primair) rendement, daar staat tegenover dat de investeringskosten laag zijn, dat de verwarming zeer snel reagerend is en dat, in het geval van stralingspanelen, er hoge stralingscomponent in de verwarming zit, wat het comfort ten goede komt. De karakteristieken van elektrische verwarming passen dus op zich goed bij de warmtebehoefte van de energieneutrale woning.

Bij toepassing van lokale elektrische verwarming kan verwacht worden dat het energieverbruik lager is dan bij watergevoede systemen voor een hele woning in verband met minder systeemverliezen. De grootte van dit voordeel is niet bekend.



Er kan onderscheid gemaakt worden tussen luchtverwarming, waarbij met een verwarmingselement in het ventilatiekanaal de lucht verwarmd wordt, en stralingspanelen.

Elektrische verwarming kan bijvoorbeeld gebruikt worden als reserve verwarmingsvermogen. Dit kan nodig zijn als een energieconcept uitgaat van een warmtepomp met een bron met een beperkt vermogen, zoals ventilatietourlucht of horizontale bodemwarmtewisselaars. Het gebruik van elektrische stralingspanelen heeft dan niet de voorkeur, vanwege de aangename stralingswarmte zal de gebruiker vrij snel de neiging hebben de stralingspanelen te gebruiken.

5.3 Zonneboiler

Meestal wordt de zonneboiler gebruikt voor de (voor)verwarming van warmtapwater. Voor ruimteverwarming kan de zonneboiler ingezet worden ten behoeve van het regenereren van een bron van een warmtepomp of als directe bijdrage aan de ruimteverwarming.

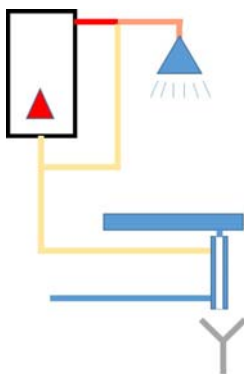
Voorals in het tussenseizoen zou een zonneboiler kunnen bijdragen aan de ruimteverwarming. Door de zeer geringe warmtevraag van de energieneutrale woning is de warmtevraag in de deze periodes echter gering. De totale bijdrage van de zonneboiler aan de ruimteverwarming is circa 10%. Meestal wordt de zonneboiler niet ingezet voor ruimteverwarming alleen, maar gecombineerd met warmtapwater (de zonneboilercombi). Voor deze zonneboiler is een collectoroppervlak van 5 à 10 m² nodig.

HOOFDSTUK 6 - WARM TAPWATER

De afvoer van warmtapwater vormt de grootste energielek in de bijna energieneutrale woning. Toch zijn er nog niet zo veel mogelijkheden om het energiegebruik voor warmtapwater substantieel te verlagen. In dit hoofdstuk worden die mogelijkheden beschreven.

6.1 Douchewater wtw

Douchewater warmteterugwinning wordt aangesloten op de koude poort van de douchemengkraan en de inlaat van het warmwatertoestel. Het rendement is ongeveer 0,5 en heeft alleen betrekking op het douchewatergebruik. Voor de referentiewoning is de vermindering van de warmtebehoefte door de douchewater warmteterugwinning 2,5 GJ. De toepassing van de douchewater warmteterugwinning vermindert het effect van een zonneboiler. De combinatie van douchewater warmteterugwinning en een zonneboiler is dan ook meestal niet zinvol. De douchewater wtw kan op verschillende manieren geïntegreerd worden in de drinkwaterinstallatie. In figuur V-10 is de optimale manier van aansluiten gegeven.



Figuur V-10 Optimale aansluiting van douche wtw

Bij toepassing van douchewater warmteterugwinning kan de inhoud van een voorraadvat circa 30% kleiner zijn.

Als gebruik gemaakt wordt van een doorstroomapparaat wordt niet voor een lager vermogen gekozen. Een lager vermogen van de warmtapwaterbereider zou er voor zorgen dat het langer duurt voordat er warmwater aan de douche beschikbaar is, wat onwenselijk is.

6.2 Ventilatiewarmtepomp

De ventilatiewarmtepomp is een warmtepomp die de afgevoerde lucht als warmtebron gebruikt. De warmte wordt opgeslagen in een voorraadvat. De warmtepomp kan het water tot een temperatuur van circa 50°C opwarmen. Gezien de vereiste minimaal te realiseren temperatuur aan het tappunt van 55°C moet de temperatuur in het voorraadvat minimaal 60°C zijn. Het laatste deel van de opwarming gebeurt dan volledig elektrisch.

De ventilatiewarmtepomp is niet te combineren met gebalanceerde ventilatie en warmteterugwinning uit ventilatielucht.



Het vermogen van de ventilatiewarmtepomp is beperkt. Het opwarmen van een volledig afgekoeld voorraadvat neemt dan ook veel tijd in beslag. Sommige systemen verhogen de ventilatievolumestroom (en daarmee wordt ook het warmteverlies groter) om een groter vermogen te kunnen leveren. Het opwarmen van het voorraadvat van 200 liter duurt met een ventilatiewarmtepomp 3 à 6 uur. Gezien het lage vermogen van de ventilatiewarmtepomp wordt vaak gekozen voor een groter voorraadvat, zodat de voorraad voldoende is voor de hele dag.

Het seizoensrendement van de ventilatiewarmtepomp voor warm tapwater is ongeveer 1,6 (inclusief elektrisch bijstook).

6.3 Elektrische boiler

De elektrische boiler is uitgerust met een verwarmingsspiraal. Het elektrisch vermogen is, voor een 200 liter voorraadvat meestal 2 kW. Een volledig koud voorraadvat heeft dan bijna 6 uur nodig om geheel (tot 60°C) op te warmen. Na iets meer dan twee uur is het voorraadvat opgewarmd tot 40°C, waarmee het water bruikbaar is voor de meest huishoudelijke toepassingen.

6.4 Elektrische geiser

De elektrische geiser, of het elektrisch doorstroomtoestel, wordt het water direct verwarmd door een verwarmingselement met een groot vermogen. Soms heeft het toestel een zeer kleine watervoorraad. Omdat er geen opslag is van warmwater en meestal ook geen transport door leidingen zijn er geen extra warmteverliezen en hoeft het water niet opgewarmd te worden tot 55°C. Het vermogen dat nodig is om het warm tapwater voor een standaard douche (10 l/min, 38°C) te kunnen leveren is 21 kW.

Met een standaard elektrische huisaansluiting van 3x25A is het de maximaal af te nemen vermogen 17,25 kW. In de meeste gevallen zal dus een zwaardere aansluiting nodig zijn van 3x35A (24,15 kW).

Als er bijvoorbeeld gebruik gemaakt wordt van een elektrische geiser en een warmtepomp kan er middels een regeling voor gezorgd worden dat niet beiden gelijktijdig in gebruik zijn.

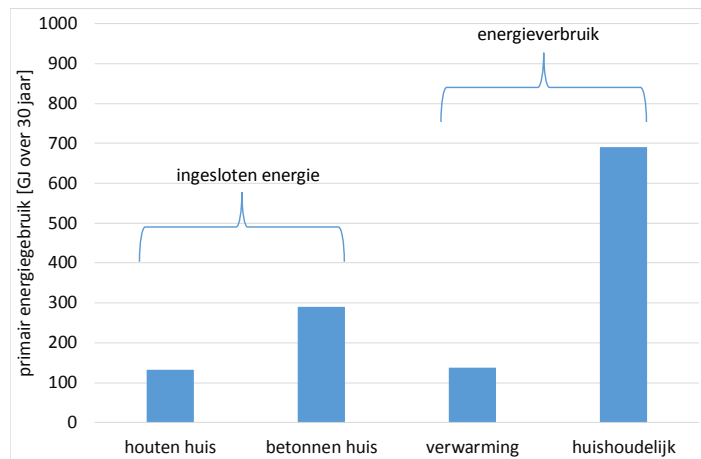
6.5 Zonneboiler

Vanwege de gelijktijdigheid van warmtapwatervraag en aanbod van zonnewarmte kan de zonneboiler relatief veel bijdragen aan de opwarming van warmtapwater. Ongeveer de helft van de warmtapwaterbehoefte (circa 4 GJ) kan geleverd worden door een zonneboiler. In combinatie met een douche-wtw is de bijdrage van de zonneboiler ongeveer de helft daarvan (2 GJ). De zonneboiler is een voorverwarmer en moet altijd gecombineerd worden met een naverwarmer die het tapwater tot een temperatuur van 55°C kan opwarmen en de warmte kan leveren als er geen aanbod van zonnewarmte is.



HOOFDSTUK 7 - INGESLOTEN ENERGIE

Ingesloten (embedded) energie, de energie die nodig is voor het maken van de bouwmaterialen, het bouwen zelf, het slopen en eventueel het herwinnen van energie uit de sloopmaterialen is geen specifiek onderwerp van deze rapportage. Om een indruk te krijgen van de relevantie van dit deel van het energiegebruik worden hier kengetallen gegeven voor de totale hoeveelheid ingesloten energie voor een houtskeletbouw huis en een betonnen huis⁸ in vergelijking met het energieverbruik voor verwarming, tapwater en huishoudelijk gebruik over een periode van 30 jaar, zie Figuur V-11.



Figuur V-11 Indicatief primair energiegebruik voor realisatie, verwarming (incl tapwater) en elektriciteit van de (energiezuinige) referentiewoning. Looptijd van 30 jaar.

⁸ Life cycle primary energy analysis of residential buildings, 2010, Energy and Buildings volume 42, Issue 2. Mid Sweden University, Leif Gustavsson et.al.



HOOFDSTUK 8 - FINANCIËLE ANALYSE

In het voorgaande zijn veel technieken beschreven die toegepast kunnen worden in de bijna energieneutrale woning. De ideale configuratie is sterk afhankelijk van het verwachte gebruik van de woning en de voorkeuren van de bewoners of opdrachtgevers.

Een relevante afweging is of de hoge investeringskosten van warmte-opwekkers zoals een warmtepomp met bodemwarmtewisselaars te verantwoorden is als de energiebehoefte van de woning nog zo laag is. Met dit als uitgangspunt worden er twee concepten verder uitgewerkt:

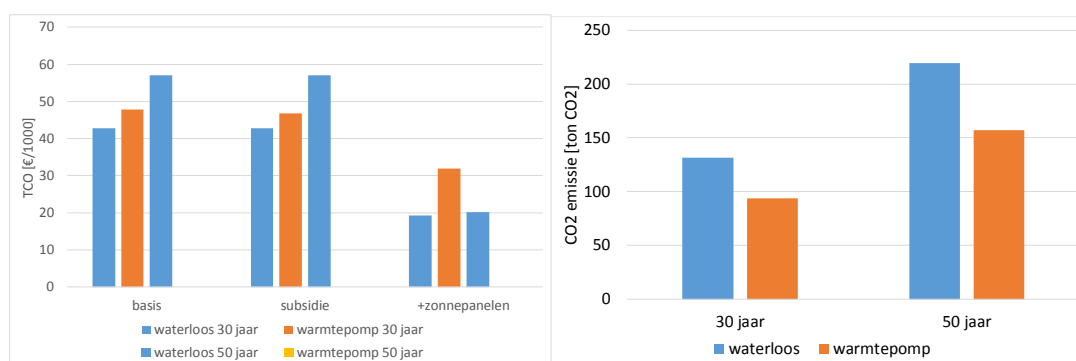
- Waterloos: De investering in de warmte-opwekkers is minimaal door gebruik te maken van elektrische (weerstand)verwarming.
- Warmtepomp: Het opwekkingsrendement is zo groot mogelijk door gebruik te maken van een warmtepomp met verticale bodemwarmtewisselaars.

	waterloos	warmtepomp
Ruimteverwarming	elektrisch	warmtepomp
Bron	n.v.t.	bodem verticaal
Tapwater	elektrische boiler	warmtepomp
Ventilatie	gebalanceerde ventilatie met wtw in twee zones per zone CO ₂ geregeld.	Gebalanceerde ventilatie met wtw in twee zones per zone CO ₂ geregeld.
Warmte-afgifte	elektrische weerstandsverwarming in ventilatiekanalen	LT radiatoren

Tabel V-10

Onttrekkingsvermogen horizontale bodemwarmtewisselaars.

In Figuur V-12 zijn voor deze twee scenario's de total costs of ownership en de CO₂-emissies over de levensduur gegeven. Voor beide scenario's is bekeken wat de financiële impact is als aan de concepten zoveel zonnepanelen toegevoegd worden dat de concepten op jaarbasis energieneutraal zouden zijn⁹. De uitgangspunten voor deze berekeningen zijn gegeven in bijlage 1. De figuren hebben betrekking op een gemiddelde situatie. In bijlage 1 zijn ook de 'worst case' en 'best case' scenario's gegeven.



Figuur V-12 Total costs of ownership (links) en totale CO₂ -emissie bij verschillende scenario's en looptijden.

⁹ Dit is verder hypothetisch aangezien de referentiewoning niet genoeg beschikbaar oppervlak heeft voor de zonnepanelen.



In Figuur V-12 is te zien dat het concept waterloos, met lage investeringen en hoger jaarlijks energiegebruik lagere totale kosten heeft. Na het toevoegen van de zonnepanelen, waarmee de concepten in principe energieneutraal worden gemaakt, is het verschil tussen het concept waterloos en warmtepomp nog groter. Vanzelfsprekend zijn de CO₂-emissies in het concept waterloos zonder de zonnepanelen aanzienlijk groter.

Er kunnen vraagtekens gezet worden bij het gebruik van het energienet als 'opslag' voor de door de zonnepanelen geproduceerde energie. De teruggeleverde elektriciteit wordt vanzelfsprekend niet echt opgeslagen, maar elders direct gebruikt. Zolang de teruglevering op de energienetten veel kleiner is dan de levering is het plausibel er van uit te gaan dat de vermeden CO₂-emissie door teruglevering gelijk is aan de CO₂-emissie van geleverde elektriciteit.



BIJLAGE 1: UITGANGSPUNTEN FINANCIËLE BEREKENING

	waterloos			warmtepomp		
	min	gem	max	min	gem	max
Ruimteverwarming	1660	1844	2767	343	381	571
Warm tapwater	4245	4717	7075	3444	3826	5740
hulpenergie verwarmen	202	224	336	202	224	336
ventilatoren	1394	1549	2324	1394	1549	2324
Totaal	7501	8334	12502	5383	5980	8971

Tabel V-11 Energiegebruik in kWh.

	waterloos	warmtepomp
opwekker warmtepomp	n.v.t.	€ 9 000,-
bronsysteem	n.v.t.	€ 5 000,-
afgiftesysteem elektrisch	€ 2 500,-	
Warmtapwater	€ 500,-	
afgiftesysteem radiatoren	n.v.t.	€ 1 500,-
operationele kosten jaarlijks	€ 100,-	€ 250,-
operationele kosten incidenteel (10 jaar)	€ 250,-	€ 1 000,-
Subsidie	-	€ 1 000,-
verwijderingskosten	-	€ 1 000,-

Tabel V-12 Kostenkenmerken gemiddeld, voor de minimale waarde is een factor van 0,8 aangehouden, voor de maximale waarde is een factor van 1,2 aangehouden.

	min	gem	max
Elektriciteitsprijs	(inflatie energie)	€ 0,20	(inflatie energie)
Disconteringsvoet	4,5%	4,5%	4,5%
Inflatie regulier	1%	2%	4%
inflatie energie	1%	2%	6%
opbrengst zonnepanelen	150 kWh/m ²	150 kWh/m ²	150 kWh/m ²
zonnepanelen kWh/Wp	0,85	0,85	0,85
zonnepanelen prijs	1,40 €/Wp	1,40 €/Wp	1,40 €/Wp
Emissiefactor elektriciteit	0,526 kg/kWh	0,526 kg/kWh	0,526 kg/kWh

Tabel V-13 Overige gegevens



average case			
	basis	subsidie	+zonnepanelen
waterloos 30 jaar	43	43	19
warmtepomp 30 jaar	48	47	32
waterloos 50 jaar	57	57	20
warmtepomp 50 jaar	60	59	34
worst case			
	basis	subsidie	+zonnepanelen
waterloos 30 jaar	105	105	51
warmtepomp 30 jaar	96	95	65
waterloos 50 jaar	200	200	53
warmtepomp 50 jaar	167	165	71
Best case			
	basis	subsidie	+zonnepanelen
waterloos 30 jaar	34	34	22
warmtepomp 30 jaar	38	38	34
waterloos 50 jaar	43	43	23
warmtepomp 50 jaar	46	45	35

Tabel V-14

Resultaten van scenario analyse



Korenmolenlaan 4
3447 GG Woerden
Telefoon: 088 401 06 20

info@tvvl.nl | www.tvvl.nl

