



# LINCOLN**PARK**

## Haalbaarheidsstudie voor Nul Op De Meter Woonwijk

Referentie 07324-54073-03  
Rapporttitel Lincolnpark;  
Haalbaarheidsstudie voor Nul Op De Meter Woonwijk  
Datum 23 februari 2022

Opdrachtgever Gemeente Haarlemmermeer  
Marktlaan 124  
2130 AG HOOFFDORP  
Contactpersoon De heer B. van Eijk

Behandeld door	Caubergh Huygen B.V. De heer ir. B. van Nimwegen De heer ir. J. Ponsteen Postadres: Hoofdweg 70 3067 GH Rotterdam T: 088-515 25 05 E: <a href="mailto:info@cauberghuygen.nl">info@cauberghuygen.nl</a> W: <a href="http://www.cauberghuygen.nl">www.cauberghuygen.nl</a> K.V.K. 58792562 IBAN NL71RABO0112075584	TNO  Postadres: Postbus 6012 2600 JA Delft T 088-866 22 00 E: <a href="mailto:info@tno.nl">info@tno.nl</a> W: <a href="http://www.tno.nl">www.tno.nl</a>
----------------	--	---

Dit rapport is mede mogelijk gemaakt met  
subsidie van de provincie Noord-Holland.



#### Disclaimer

De opdrachtgever (de gemeente Haarlemmermeer) stimuleert kennisuitwisseling en innovatie bij duurzame gebiedsontwikkeling. Zij stimuleert dat de inhoud van dit rapport actief wordt gedeeld, gebruikt en toegepast door derden. De inhoud van dit rapport is met zorgvuldigheid opgesteld. We kunnen echter niet garanderen dat de inhoud foutloos is. De gemeente Haarlemmermeer aanvaardt daarom geen aansprakelijkheid voor schade als gevolg van het gebruik van dit rapport. Derden gebruiken de inhoud op eigen risico.

Meer projectinformatie: [www.Lincolnpark.online](http://www.Lincolnpark.online)

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Introductie</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Lincolnpark</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>BENG en NOM</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Energieconcepten</b>	<b>9</b>
4.1	Concept 1: Lucht-Water warmtepomp	9
4.2	Concept 2: Water-Water warmtepomp	10
4.3	Concept 3: Weerstandsverwarming	10
4.4	Maatregelen bij alle concepten	11
<b>5</b>	<b>Varianten studies op gebouwniveau</b>	<b>12</b>
5.1	Basis woning	12
5.2	Positie in het gebouw	13
5.3	Oriëntatie	14
5.4	Installaties	15
5.5	Conclusies	16
<b>6</b>	<b>Energieopbrengst</b>	<b>17</b>
6.1	Opwekking via PV	17
6.2	Optimalisatie van de opbrengst	18
6.3	Resultaten	19
6.4	Conclusie	20
<b>7</b>	<b>Verkennde berekeningen TNO</b>	<b>21</b>
7.1	Rekenmodel TNO	21
7.2	Resultaten per bouwtype	22
7.3	Resultaten gehele wijk in 3 dichtheden	22
7.4	Conclusies	23
7.5	Vergelijking berekeningen TNO-CH	23
<b>8</b>	<b>NOM per bouwtype</b>	<b>24</b>
8.1	Energievraag per bouwtype	24
8.2	Energieaanbod per bouwtype	24
8.3	Resultaten	24
8.4	Effect van een extra bouwlaag	25
<b>9</b>	<b>NOM per Dichtheid</b>	<b>26</b>
<b>10</b>	<b>NOM voor definitief ontwerp</b>	<b>27</b>
10.1	Energiebalans	28
10.2	PV-panelen op de gevels	28
10.3	NOM bij een Water-Water Warmtepomp	29
10.4	NOM bij een Lucht-Water Warmtepomp	30
10.5	Conclusie	31

**Bijlage I    Overzicht van Innovatieve technologieën**

## 1 Introductie

Aan de zuidzijde van Hoofddorp wordt met Lincolnpark een nieuwe wijk met zeer hoge duurzaamheidsambities ontworpen. Het doel van de Gemeente Haarlemmermeer is om het volledige woningaanbod in deze wijk uit te voeren als Nul Op de Meter (NOM). In opdracht van Gemeente Haarlemmermeer heeft Cauberg Huygen in samenwerking met Posad Maxwan en TNO een onderzoek gedaan naar de haalbaarheid van deze ambitie voor een volledige Nul Op de Meter woonwijk.

Door Posad Maxwan zijn vier varianten van het stedenbouwkundig ontwerp gemaakt, steeds met een hogere dichtheid van woningen in het plangebied. Het centrumgebied van de wijk, en de daarbij gesitueerde woningen zijn niet meegenomen in deze studie. Alle vier de varianten zijn in de basis samengesteld uit dezelfde 5 woongebouwtypes, of kleine variaties daarop. Tegelijkertijd zijn er door TNO een drietal kansrijke installatieconcepten voorgesteld voor de woongebouwen, rekening houdend met technische mogelijkheden die binnen drie tot vijf jaar op de markt komen.

Figuur 1.1: 3D visualisatie van het plangebied Lincolnpark, bron: Posad Maxwan.



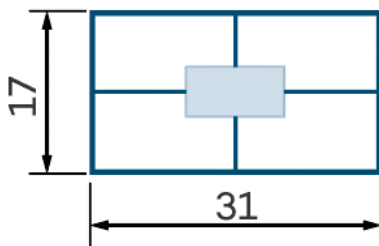
Aan de hand van het stedenbouwkundig ontwerp en de installatieconcepten heeft Cauberg Huygen vervolgens verschillende energiebalansen gemaakt, zowel op gebouw- als op wijkniveau. Voor deze balansen zijn de door TNO voorgestelde installatieconcepten berekend conform de NTA 8800. Tegelijkertijd is het stedenbouwkundig ontwerp door Cauberg Huygen middels een parametrische benadering gezocht naar de meest optimale benutting van zonne-energie. De mogelijke opties en conclusies van TNO en Cauberg Huygen zijn vervolgens beschreven in dit rapport.

Er zijn drie varianten van het concept stedenbouwkundig plan onderzocht en het dan betreffende oriënterende berekeningen. Op basis van deze berekeningen is door Posad Maxwan een vierde variant, het theoretisch maximum, ontworpen welke is opgenomen in het op hoofdlijnen definitieve stedenbouwkundige plan. Deze laatste variant is uitgewerkt en toegelicht in hoofdstuk 10. Te zijner tijd dienen bij de uitwerking van de definitieve plannen op gebouwniveau nieuwe berekeningen gemaakt te worden gebaseerd op de dan geldende regelgeving en plannen.

## 2 Lincolnpark

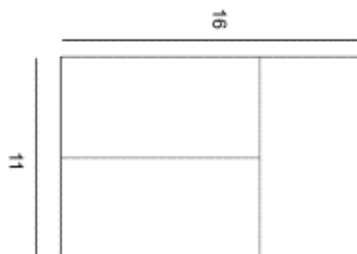
Het concept stedenbouwkundig plan voor de wijk kent vier varianten, waarin verschillende dichtheden worden voorgesteld, oplopend van laag naar hoog. Elk van de varianten is echter opgebouwd uit dezelfde type bouwblokken. Door te variëren met hoe vaak een bepaald bouwblok wordt toegepast, wordt bepaald hoe verdicht de wijk gaat worden. Veel rijtjeswoningen en laagbouw resulteert in een lage dichtheid, bij veel en vooral ook hogere appartementengebouwen wordt de dichtheid ook hoger. In de stedenbouwkundige varianten zijn de volgende bouwtypes voorgesteld:

*Urban Villa:*



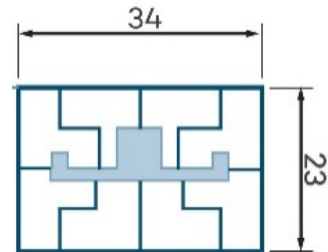
De Urban Villa komt vaak voor in alle vier de varianten. Elke verdieping is verdeeld in vier woningen en de hoogte varieert tussen de vier en zes bouwlagen. De gemiddelde oppervlakte van een woning is ongeveer 120 m<sup>2</sup>.

*Kleine Urban Villa:*



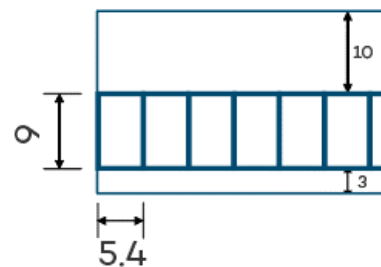
De Kleine Urban Villa komt vooral voor in de varianten met een gemiddelde en een hoge dichtheid. Het gebouw heeft twee lagen met elk drie woningen. Een woning heeft een gemiddeld oppervlak van circa 60 m<sup>2</sup>.

*Toren:*



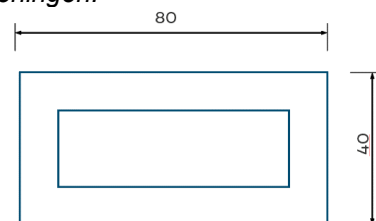
De toren komt het vaakst voor in de hoge dichtheid variant. Eén gebouw bestaat uit vier tot zes verdiepingen met elk 8 woningen. Een gemiddelde woning in dit gebouw is 70 m<sup>2</sup> groot.

*Rijwoningen:*



De rijwoningen komen met afstand het vaakst voor in de variant met de laagste dichtheid. De woningen hebben drie volledige verdiepingen en een zolderruimte. Hiermee heeft een rijwoning een vloeroppervlak van ongeveer 120 m<sup>2</sup>.

*Galerijwoningen:*

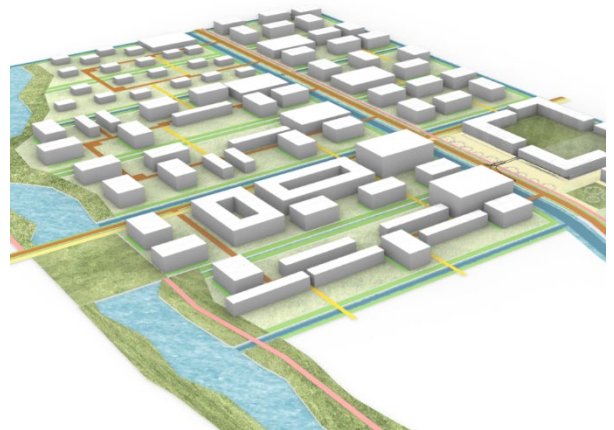


Het blok met galerijwoningen is met afstand het grootste van de vijf typen. Elk gebouw bestaat uit ongeveer 70 woningen, afhankelijk van de andere functies in het blok. De variant met een hoge dichtheid heeft vier van deze gebouwen. De andere twee varianten slechts twee. Het bouwblok heeft in de basis vier bouwlagen en kan variëren in lengte en breedte, maar ook in hoogte.

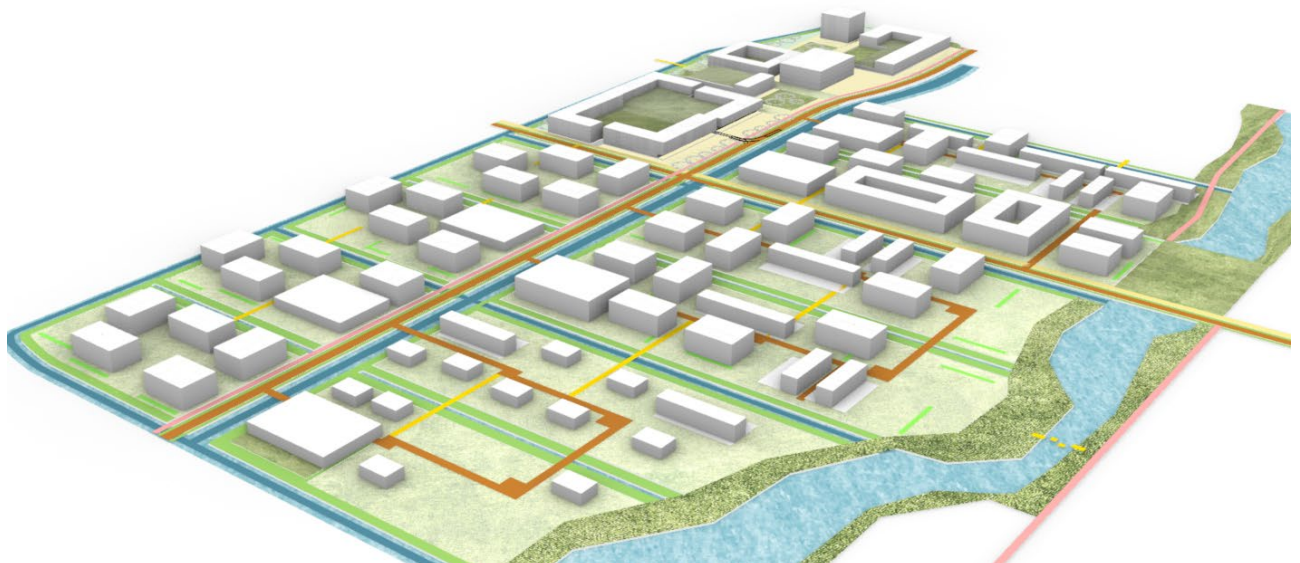
		Lage Dichtheid	Gemiddelde Dichtheid	Hoge Dichtheid
Urban Villa	Aantal blokken	18	20	22
	<b>Aantal woningen</b>	<b>288</b>	<b>312</b>	<b>360</b>
Kleine Urban Villa	Aantal blokken	11	20	20
	<b>Aantal woningen</b>	<b>66</b>	<b>120</b>	<b>120</b>
Toren	Aantal blokken	16	22	23
	<b>Aantal woningen</b>	<b>320</b>	<b>445</b>	<b>580</b>
Rijwoningen	Aantal blokken	-	-	-
	<b>Aantal woningen</b>	<b>124</b>	<b>104</b>	<b>62</b>
Galerijwoningen	Aantal blokken	2	2	4
	<b>Aantal woningen</b>	<b>129</b>	<b>129</b>	<b>200</b>
Totaal		927	1110	1322

Tabel 2.1: Overzicht van de gebouwtypes in de verschillende varianten (exclusief voorzieningencluster)

De aantallen van de woningen per dichtheid zijn hierboven weergegeven. Deze waarden komen overeen met het 3D-model wat de basis is geweest voor de berekeningen van zowel de energievraag als het -aanbod. Dit model bevat alle drie de stedenbouwkundige varianten, waarvan hier onder en naast een aantal sfeerimpressies zijn weergegeven. De voorzieningencluster van het plan ligt in de noordelijke hoek van de kavel. Dit cluster valt niet onder het onderzoek in dit rapport. Alleen de woningclusters zijn beschouwd.



Figuur 2.1 & 2.2: Visualisaties van lage en gemiddelde dichtheid, bron: Posad Maxwan



### 3 BENG en NOM

De energiehuishouding van een woning of gebouw kan worden gesplitst in twee delen: het gebouw-gebonden energieverbruik en het gebruikers energieverbruik. Bij een energieneutraal gebouw dient alleen het gebouw-gebonden energieverbruik lager te zijn dan de totaal opgewekte energie. Onder gebouw-gebonden verbruik worden alle verbruiken van installaties gerekend. Hieronder vallen warmtepompen, ventilatie-units en koelmachines. Als de totale energievraag van deze installaties lager is dan de energie die het gebouw zelf opwekt, is een gebouw energieneutraal.

Bij Nul Op de Meter woningen wordt, naast het gebouw-gebonden energieverbruik, ook de gebruikers energieverbruik meegenomen. Dit energieverbruik representeert alle energie die de gebruikers zelf nog extra verbruiken. Denk hierbij aan alle apparatuur in een woning: televisies, verlichting, een elektrische kookplaat en koelkast. Deze gebruikersenergie wordt vanuit de Energie Prestatie Vergoeding (EPV) als volgt bepaald:

- 26 kWh/m<sup>2</sup> per jaar;
- Minimaal 1800 kWh per woning per jaar;
- Maximaal 2600 kWh per woning per jaar.

Bron:

<https://energielinq.nl/kwaliteitskaders/begrippen-en-definities/>

Om een Nul Op de Meter woning te realiseren dient het totale energiegebruik van de woning lager te zijn dan de totale opgewekte energie. Dit is dus het gebouw-gebonden energieverbruik en de gebruikersenergie gecombineerd.

In de praktijk kan een huishouden meer dan 2600 kWh per jaar gebruiken. Conform de EPV regeling wordt deze waarde echter als maximum aangehouden bij de berekening van een Nul Op de Meter woning.

In deze studie is vooral gekeken naar Nul Op de Meter op gebouw- en wijkniveau. Het totale energieverbruik van alle woningen in een gebouw is bij elkaar opgeteld en op basis van die waarde is bepaald of het gebouw Nul Op de Meter te maken is met behulp van PV-panelen. Echter, dat het totale woongebouw Nul Op de Meter is, betekent niet automatisch dat elke woning in dat gebouw dat ook is. Niet elke woning heeft hetzelfde energieverbruik. Afhankelijk van bijvoorbeeld de positie in een gebouw, kan de verwarmings- of koudevraag in een woning verschillen. Zo kan het bijvoorbeeld zijn dat woning A en woning B naast elkaar liggen in een gebouw, maar dat woning B volledig NOM is en woning A net niet. Hier dient in latere ontwerpfases rekening mee gehouden te worden. Dit wordt verder uitgelegd in hoofdstuk 5.

Uiteindelijk wordt er voor het hele stedenbouwkundigplan gekeken of Nul Op de Meter haalbaar is. De energievraag van alle woongebouwen in het plan wordt bij elkaar opgeteld en vergeleken met de energie die potentieel opgewekt kan worden via PV-panelen. Hieruit volgt een energie-saldo op wijkniveau. Als dit saldo een positieve waarde heeft, wordt er meer energie opgewekt dan er wordt verbruikt en is een Nul Op de Meter wijk dus haalbaar.



## 4 Energieconcepten

TNO heeft een inventarisatie gemaakt van energiebesparende technologieën die tussen nu en vijf jaar toegepast zouden kunnen worden om de wijk Lincolnpark NOM te maken.

Uitgangspunt was daarbij een 'All Electric' wijk. Scenario's met warmtenetten op basis van duurzame warmte of industriële restwarmte, of verwarming met biomassa (zoals pellet kachels) zijn niet beschouwd. WKO (Warmte/Koude Opslag) is eveneens niet beschouwd vanwege de relatief kleine omvang van de wijk, en rekening houdend met de mogelijkheid dat de wijk in kleinere delen kan worden gerealiseerd.

Als primaire warmtebron blijft dan een warmtepomp of weerstandsverwarming over. Dit kan worden gerealiseerd op woningniveau of gebouwniveau. Beide opties hebben voor- en nadelen, maar de (energetische) prestatie zal naar verwachting weinig verschillen. Omdat het hier gaat om een haalbaarheidsstudie, worden generieke concepten gepresenteerd, die op woningniveau of op gebouwniveau kunnen worden gerealiseerd.

De concepten bestaan uit een combinatie van technologieën, waaronder een opwekeenheden (warmtepomp of weerstandsverwarming), een afgiftesysteem voor ruimteverwarming (radiatoren, convectoren, vloerverwarming), een opwekeenheden voor warm tapwaterbereiding, al dan niet warmteterugwinning uit de ventilatielucht, automatische zonwering of zonwerend glas, etc.

Er worden drie concepten gepresenteerd met combinaties van deze technologieën om te verkennen wat de mogelijkheden en beperkingen zijn voor het realiseren van een NOM wijk. Uiteraard is het mogelijk andere combinaties van bovenstaande technologieën te kiezen.

Een uitgebreider overzicht van mogelijke technieken in de nabije toekomst is in bijlage I te vinden.

### 4.1 Concept 1: Lucht-Water warmtepomp

Dit concept maakt gebruik van een lucht-water warmtepomp en convectoren voor de warmteafgifte. Het concept heeft geen bodembron en geen vloerverwarming en is dus relatief eenvoudig te installeren. De (energetische) prestatie van een warmtepomp wordt vaak uitgedrukt in de COP of Coefficient Of Performance. Dit is de hoeveelheid warmte die met 1 eenheid elektriciteit kan worden opgewekt. De prestatie waar in dit concept van uit wordt gegaan is die van de momenteel best presterende units. De verwachting is dat de prestatie weliswaar geleidelijk zal verbeteren, maar omdat de technologie volwassen is, worden er tussen nu en 5 jaar geen grote sprongen in prestatie verwacht.

Een lucht-water warmtepomp presteert wat lager voor de bereiding van warm tapwater, vandaar dat hiervoor een MEED douche wordt ingezet. Dit is een unit bestaande uit een combinatie van warmteterugwinning uit douchewater en elektrische naverwarming. Dit product is door TNO ontwikkeld en wordt momenteel door MEED B.V. vermarkt.

Voor het beperken van de ventilatieverliezen wordt er warmte uit de ventilatielucht gewonnen met een warmteterugwinunit (wtw).

Goed geïsoleerde woningen, vooral met grote glasoppervlakken op de zon, lopen een risico op oververhitting. Voor een comfortabel binnenklimaat wordt daarom verondersteld dat de warmtepomp in omgekeerd bedrijf in staat is de woning via de convectoren te koelen. De koelvraag dient zo veel mogelijk geminimaliseerd te worden door met een (automatische) zonwering ongewenste zonnwarmte te weren. Deze zonwering is aangebracht op de ZO- en ZW georiënteerde

gevels. De belangrijkste kenmerken van dit concept (en van de overige twee concepten) zijn samengevat in tabel 4.1.

#### **4.2 Concept 2: Water-Water warmtepomp**

In het tweede concept wordt een water-water warmtepomp met vloerverwarming toegepast. Hoewel meer installatiewerk nodig is, voor onder meer een bodembron, is de (energetische) prestatie van dit systeem hoger dan dat van concept 1. Ook de prestatie voor de bereiding van warm tapwater is hoger. Indien bij vervanging in de toekomst een thermo-akoestische warmtepomp wordt geïnstalleerd, zijn de prestaties voor warm tapwaterbereiding naar verwachting nog beter.

Door in de zomer relatief koud water uit de bodem (na menging met retourwater om condensatie te vermijden) door de vloerverwarming te leiden, kan de woning energiezuinig worden gekoeld. De prestatie die voor een dergelijk koelsysteem wordt opgegeven, varieert aanzienlijk. Voor de berekeningen is een (conservatieve) waarde voor de COP van 10 gehanteerd.

Voor het beperken van de ventilatieverliezen wordt weer een warmteterugwinunit geïnstalleerd.

Omdat buitenzonwering, vooral voor hogere gebouwen i.v.m. toegang voor onderhoud of reparatie minder geschikt is, wordt in dit concept zonwerend glas in plaats van zonwering toegepast, ook weer op de ZO- en ZW georiënteerde gevels.

#### **4.3 Concept 3: Weerstandsverwarming**

In de TNO berekeningen (zie hoofdstuk 7) is de warmtevraag voor ruimteverwarming door de goede isolatie van de schil en de compacte bouw relatief laag. Dat is de reden om in het derde concept weerstandsverwarming toe te passen. De eenvoud van technologie en installatie ervan wegen dan mogelijk op tegen de hogere energielasten. Overigens is hiervan geen

kostenanalyse gemaakt. Als aanvulling kan gekozen worden voor een weerstandsverwarming met warmteopslag in blokken materiaal met een hoge warmtecapaciteit. Hierin kan warmte worden opgeslagen als de elektriciteitsstarieven laag zijn. Wanneer in 2030 de salderingsregeling is afgeschaft, is het (financieel) voordeliger om de met PV-panelen opgewekte stroom te gebruiken voor warmteopslag dan de stroom terug te leveren aan het net.

Omdat de benodigde warmte voor warm tapwaterbereiding aanzienlijk hoger is dan voor ruimteverwarming, wordt hiervoor weer de in concept 1 genoemde MEED-douche toegepast.

Binnen een eenvoudig installatiesysteem past ook een ventilatiestysteem zonder warmteterugwinning. Voor koeling wordt een airco-unit gebruikt en er wordt automatische zonwering toegepast op de ZO- en ZW-gevels.

#### 4.4 Maatregelen bij alle concepten

In alle concepten is gerekend met toepassing van een aantal aanvullende energiebesparende maatregelen, waarvan de belangrijkste zijn:

- Opslagvat voor warm tapwater met vacuümisolatie voor lage stilstandsverliezen.
- Ruim bemeten ventilatiekanalen met zo weinig mogelijk bochten voor een lage luchtweerstand, lage energievraag van de ventilatoren en lage geluidsproductie.
- CO<sub>2</sub>-gestuurde ventilatie om de ventilatieverliezen te minimaliseren

De belangrijkste kenmerken van de drie concepten zijn samengevat in tabel 4.1

Tabel 4.1: Belangrijkste kenmerken van de drie concepten.

Concept 1	Concept 2	Concept 3
<b>Verwarming</b>	<b>Verwarming</b>	<b>Verwarming</b>
Lucht – Water Warmtepomp COP = 3,7 Convectoren	Water – Water Warmtepomp COP = 4,4 Vloerverwarming	Weerstand- verwarming COP = 1,0 Radiatoren
<b>Tapwater</b>	<b>Tapwater</b>	<b>Tapwater</b>
Renodouche COP = 3,3	Warmtepomp COP = 2,6	Renodouche COP = 3,3
<b>Koeling</b>	<b>Koeling</b>	<b>Koeling</b>
Warmtepomp COP = 3,0	Warmtepomp COP = 10,0	Split-Unit COP = 3,0
<b>Ventilatie</b>	<b>Ventilatie</b>	<b>Ventilatie</b>
WTW CO <sub>2</sub> -sturing Brede kanalen	WTW CO <sub>2</sub> -sturing Brede kanalen	Natuurlijke toevoer CO <sub>2</sub> -sturing Brede kanalen

## 5 Varianten studies op gebouwniveau

Tijdens het onderzoek zijn er een aantal studies gedaan naar de effecten die bepaalde bouwkundige ingrepen hebben op de energievraag van de woningen. Dit is gedaan om in te spelen op eventuele veranderingen van het ontwerp in latere fases. Met de in dit hoofdstuk gepresenteerde getallen kan een schatting worden gemaakt wat voor effect een bepaalde bouwkundige ingreep heeft op de totale energie vraag van een woning of een heel woongebouw. De variantenstudies die in dit hoofdstuk worden besproken zijn als volgt:

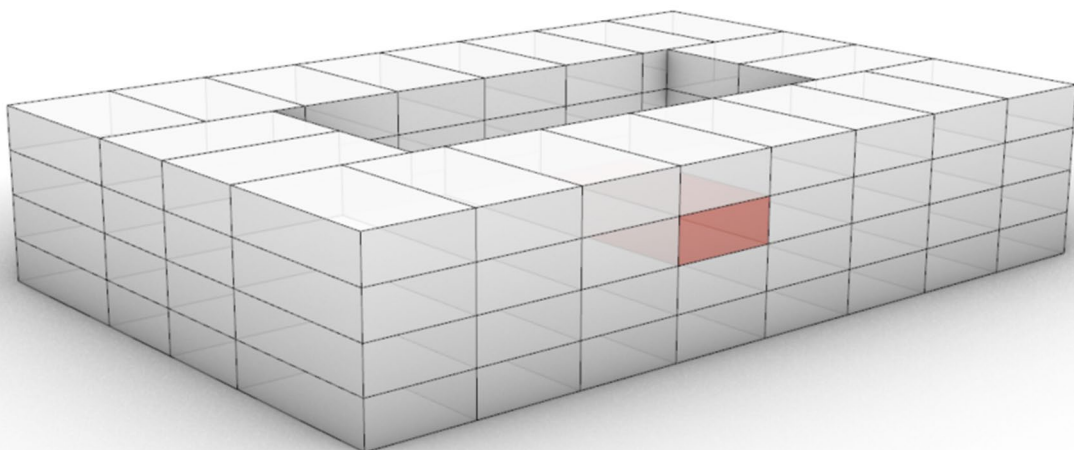
- Positie in het gebouw
- Oriëntatie
- Gevelopeningen
- Type zonwering
- Installatieconcept

### 5.1 Basis woning

Eén voor één zal het effect van deze bouwkundige aspecten op de energievraag inzichtelijk worden gemaakt. Dit effect wordt vervolgens vergeleken met een basis woning. Deze basis woning heeft de volgende bouwkundige eigenschappen:

Appartement op verdieping	
Gebruiksoppervlak:	68m <sup>2</sup>
Tweezijdig georiënteerd:	ZO - NW
Compactheidsfactor:	0,50
R <sub>c</sub> -waarden:	
• Vloer	3,7 m <sup>2</sup> K/W
• Gevel	4,7 m <sup>2</sup> K/W
• Dak	6,3 m <sup>2</sup> K/W
U <sub>raam</sub> – waarde:	1,2 W/m <sup>2</sup> K
ZTA <sub>O-Z-W</sub> :	0,4
ZTA <sub>N</sub> :	0,6
Glaspercentage:	40%

Ter illustratie is de positie van de woning in het woongebouw hier onder weergegeven. Dit de meest gunstige positie om het energieverlies te beperken. Er is geen verlies via de vloer of het dak, aangezien de woning daar aan andere woningen grenst. Enkel via de voor- of achtergevel is er energieverlies mogelijk. Deze woning, met de bovengenoemde bouwkundige en technische uitgangspunten heeft een energievraag van 44,96 kWh/m<sup>2</sup>/y (gebouwgebonden en gebruikers-energie). Het veranderen van de hierboven genoemde uitgangspunten kan een positief of een negatief effect hebben op deze energievraag.

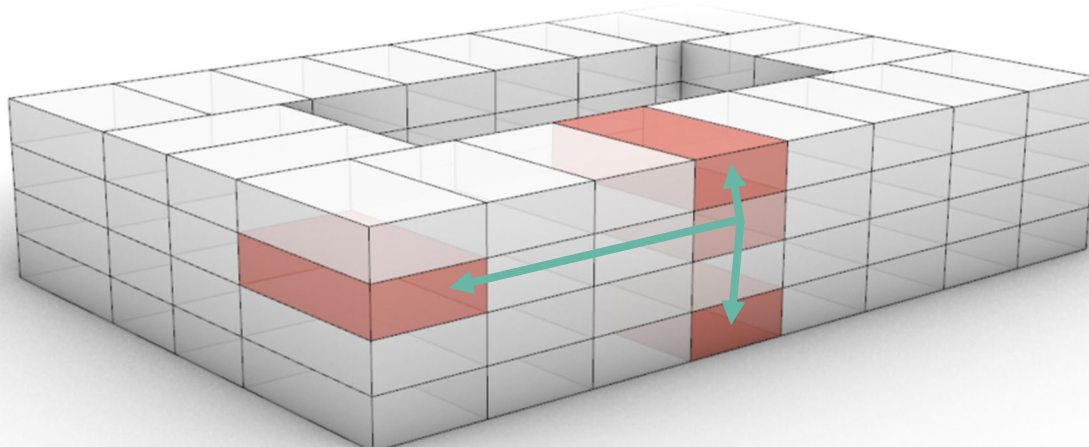


Figuur 5.1: Positie van de berekende basiswoning in een hofgebouw met daarin galerijwoningen

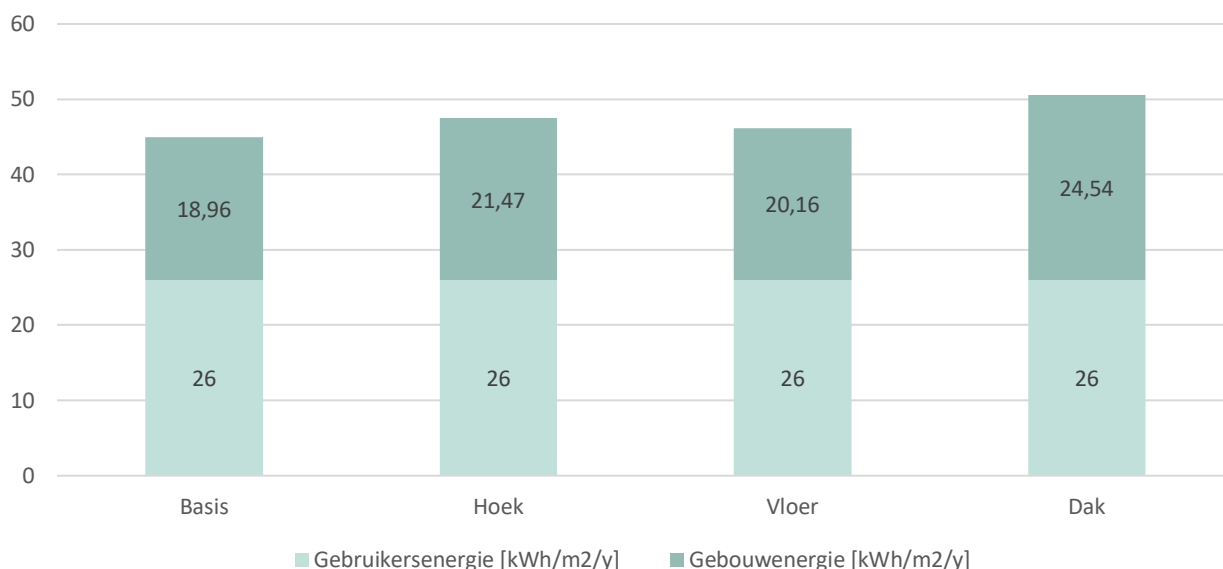
## 5.2 Positie in het gebouw

De positie in het gebouw heeft met name effect op het energieverlies door de gevel, vloer, of het dak. Het verliesoppervlak neemt toe als de woning bijvoorbeeld aan het dak of aan de begane grondvloer grenst. In deze studie zijn er drie varianten op de standaard woning doorgerekend. Deze zijn hieronder weergegeven. Al deze drie varianten hebben een hoger energieverlies dan de standaard woning. De hoekwoning heeft een groter geveloppervlak, de begane grond woning verliest meer energie via de bodem, en de woning op de bovenste verdieping verliest meer energie door het dak. Dit is ook te zien in de onderstaande grafiek.

Te zien is dat de gebruikersenergie constant blijft, ongeacht de positie van de woning in het gebouw. De gebouwenergie verschilt echter wel sterk tussen de varianten. Wat opvalt dat het verschil tussen een woning in een tussenlaag of op de begane grond nihil is. Echter is het energieverbruik in een woning op de bovenste verdieping tot 12,4% hoger. Dit komt neer op 379 kWh extra per woning per jaar. Ook een hoekwoning heeft een hogere energievraag dan een tussenwoning, al is het verschil hier kleiner.



Figuur 5.2: Varianten op de positie van een galerijwoning in een hofgebouw, gemeten ten opzichte van de basiswoning

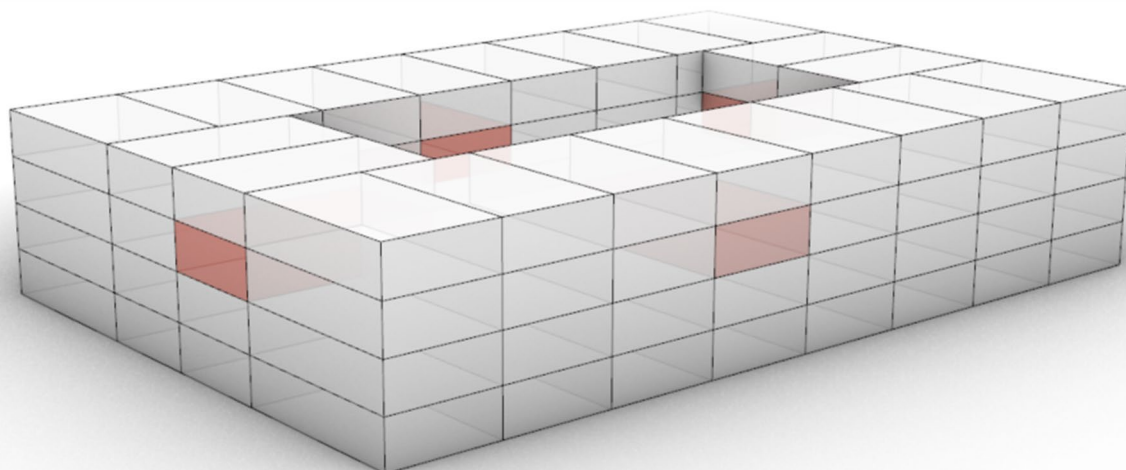


Figuur 5.3: Energievraag van de in Figuur 5.2 gegeven varianten

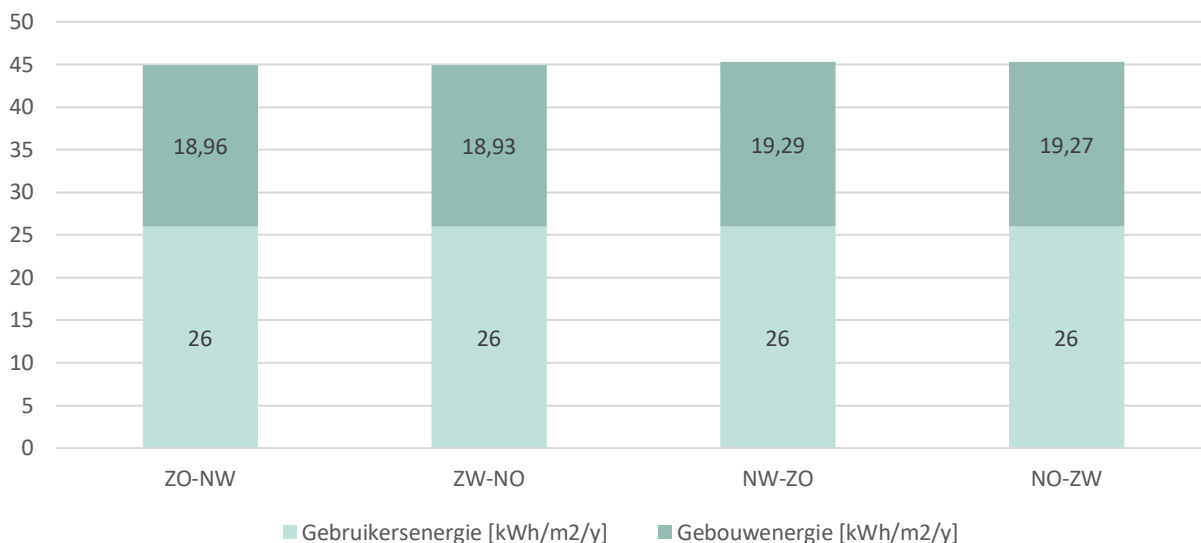
### 5.3 Oriëntatie

De oriëntatie heeft vooral invloed op de externe warmte die via de gevelopeningen wordt gewonnen. Op de zuidgevel komt er meer zonnewarmte door een raam dan op het noorden. Deze extra warmte kan zowel een positief effect als een negatief effect op de energievraag hebben. Dit is afhankelijk van de rendementen van de verwarmings- en koelingsinstallaties in de woning. Als het rendement van de koeling laag is, zoals bij compressiekoeling, zal een groot raam in de zuidgevel een negatiever effect hebben op de energiebehoefte dan wanneer de koude met een efficiënte bodem warmtepomp wordt opgewekt.

Uit de resultaten blijkt dat de verschillende oriëntaties slechts voor minimale veranderingen in energiebehoefte leiden. De totale energiebehoefte varieert slechts 20,4 kWh per woning op jaarbasis. Uitgangspunt in deze berekening is wel dat de twee gevels gelijke open-dicht verhoudingen hebben. Als er een groter verschil zit tussen de voor- en achtergevel zal dit leiden tot grotere verschillen. Echter voor nu kan geconcludeerd worden dat het veranderen van oriëntaties minimaal tot geen effect heeft op de totale energievraag van een woning.



Figuur 5.4: Varianten op de oriëntatie van een galerijwoning in een hofgebouw, gemeten ten opzichte van de basiswoning



Figuur 5.5: Energievraag van de in Figuur 5.4 gegeven varianten

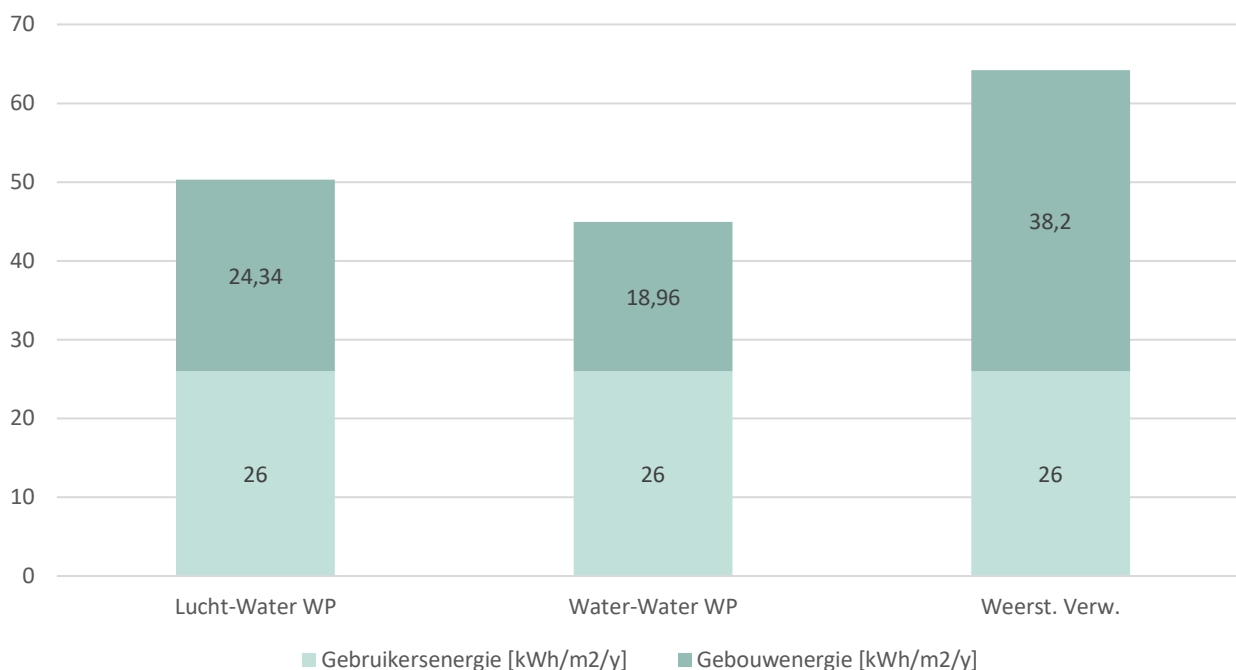
## 5.4 Installaties

Aan de hand van een door TNO aangeleverde studie naar verschillende installatieconcepten, is de energievraag voor drie verschillende installatieconcepten doorgerekend. De uitgangspunten van deze concepten zijn weergegeven in onderstaande tabel. Deze concepten zijn slechts enkele van de vele systemen die mogelijk zijn. Tijdens de nadere ontwikkeling zijn er nog andere combinaties van deze systemen mogelijk om zo tot een ideaal concept te komen.

Voor nu is er gekozen voor drie verschillende systemen: een luchtwarmtepomp, een warmtepomp op grondwater of een concept met weerstandsverwarming. De rendementen van deze installaties zijn hiernaast weergegeven. In de grafiek is te zien dat het concept met de warmtepomp op grondwater de laagste energievraag heeft. Gezien de hoge rendementen voor verwarming en koeling ligt dit in de lijn der verwachting.

Een concept met een luchtwarmtepomp heeft een energievraag die circa 5,5 kWh/m<sup>2</sup> per jaar hoger ligt. Dit is ongeveer 374 kWh per woning per jaar extra. De energievraag voor het concept met weerstandsverwarming ligt ongeveer twee keer zo hoog als met de water-water warmtepomp, wat neerkomt op ongeveer 1292 kWh per woning per jaar aan extra energiebehoefte.

Concept 1	Concept 2	Concept 3
<b>Verwarming</b> Lucht – Water Warmtepomp COP = 3,7	<b>Verwarming</b> Water – Water Warmtepomp COP = 4,4	<b>Verwarming</b> Weerstands- verwarming COP = 1,0
<b>Tapwater</b> Renodouche COP = 3,3	<b>Tapwater</b> Warmtepomp COP = 2,6	<b>Tapwater</b> Renodouche COP = 3,3
<b>Koeling</b> Warmtepomp COP = 3,0	<b>Koeling</b> Warmtepomp COP = 10,0	<b>Koeling</b> Split-Unit COP = 3,0
<b>Ventilatie</b> WTW	<b>Ventilatie</b> WTW	<b>Ventilatie</b> Natuurlijke toevoer



Figuur 5.7: Energievraag van de basiswoning bij toepassing van de verschillende installatieconcepten

Door het grote verschil met de andere twee concepten wordt de variant met weerstandsverwarming vanaf hier buiten beschouwing gelaten. Uit vergelijking met het onderzoek van TNO blijkt dat dit systeem slechter scoort in de NTA 8800 dan je mag verwachten volgens het onderzoek van TNO. Hierdoor is besloten om dit concept hier links te laten liggen en verder te gaan met alleen de luchtwarmtepomp en de warmtepomp op grondwater. Hiervan is de energievraag van het grondwatersysteem beduidend lager dan dat van de luchtwarmtepomp.

## **5.5 Conclusies**

De verschillende variantenstudies laten zien dat er grote verschillen mogelijk zijn in de energievraag van een woning. Met bouwkundige ontwerpkeuzes zoals glaspercentage en zonwering, of installatietechnische keuzes, tussen een lucht of grondwater warmtepomp, kan het energieverbruik van een woning significant verlaagd of verhoogd worden.

Ook woningen die verder exact hetzelfde bouwkundige en installatietechnische ontwerp hebben, kunnen echter verschillen in energievraag, afhankelijk van de positie in het gebouw. Zo heeft een hoekwoning een groter verliesoppervlak dan een tussenwoning. Ook heeft een woning die grenst aan het dak een hogere energievraag dan een woning op de begane grond.

Bij het realiseren van Nul Op de Meter woningen is het essentieel om het energieverbruik in een vroeg ontwerpstadium al zo laag mogelijk te houden. Hoe hoger het energieverbruik in het begin, hoe moeilijker de Nul Op de Meter op het eind te halen is. Met doordachte ontwerpbeslissingen kan in een vroeg stadium het energieverbruik van een woongebouw, of individuele woning al beperkt worden. Dit maakt het ontwerpproces in latere fases eenvoudiger. Er is immers niet oneindig veel ruimte voor PV-panelen op het dak en de gevel.



## 6 Energieopbrengst

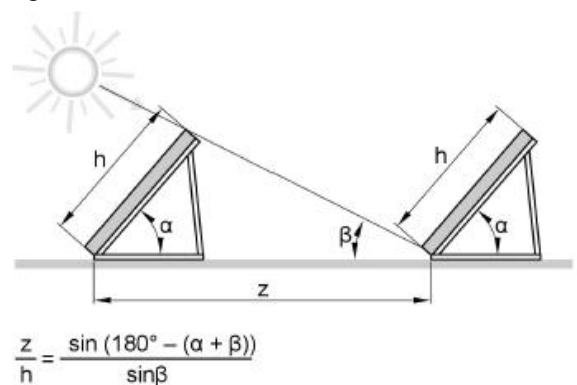
De resterende energievraag van de woningen zal worden opgewekt via PV-panelen die op alle daken en waar nodig de gevels kunnen worden gelegd. Het is de intentie om op de woongebouwen voldoende panelen te leggen om NOM woningen te realiseren. De voorzieningencluster en parkeergebouwen zijn niet in deze studie beschouwd. Om de opbrengst via PV te berekenen is de Honeybee 1.1.0 software gebruikt, welke gekoppeld is aan het 3D model wat is aangeleverd door Posad Maxwan.

### 6.1 Opwekking via PV

In het concept stedenbouwkundig plan worden vier varianten met dichtheden van bebouwing voorgesteld, zoals uitgelegd in hoofdstuk 2. Logischerwijs zal een hogere dichtheid ook tot een hogere totale energievraag leiden. Echter, omdat het overgrote deel van de opgewekte energie via de PV-panelen op het dak wordt opgewekt, zal de extra hoeveelheid opgewekte energie niet gelijk zijn aan de extra energievraag. Dit is te zien in figuur 6.3

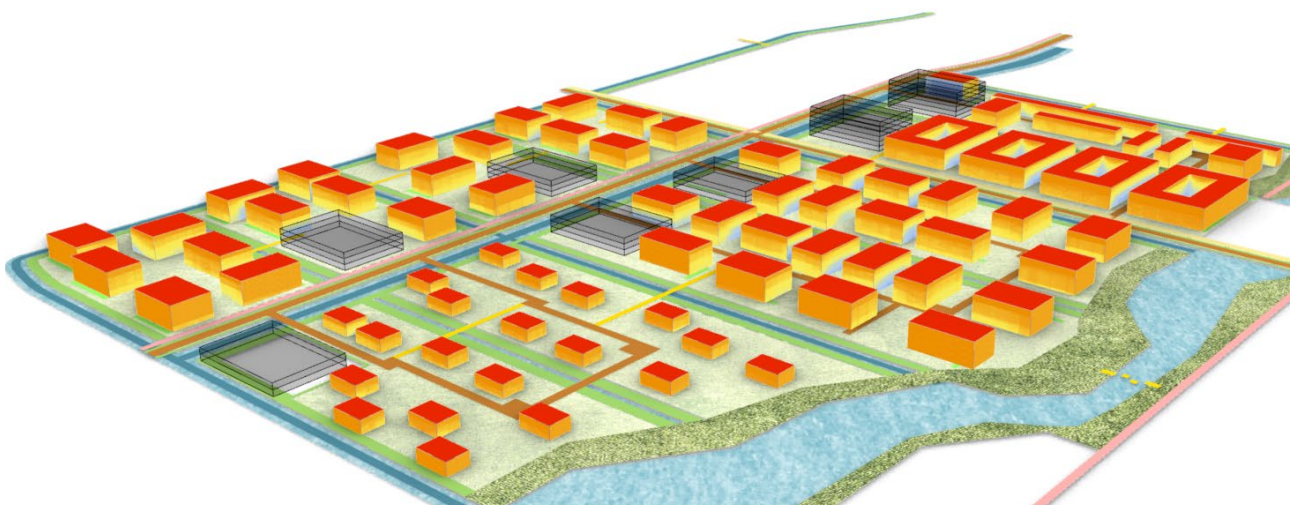
Uitgangspunt in deze berekeningen is dat 85% van het dak beschikbaar is voor PV. Echter is er wel voldoende afstand nodig tussen de panelen om

onderlinge schaduwwerking te voorkomen. Dit principe is te zien op figuur 6.1. Op de gevel is gekozen om de onderste 6 meter niet te gebruiken voor PV, daarmee rekening houdend met de groenvoorziening in de wijk. Ook zal er geen PV gelegd worden als er te weinig zonlicht op zal vallen en wordt er rekening gehouden met gevelopeningen, balkons en overige elementen op de gevel.

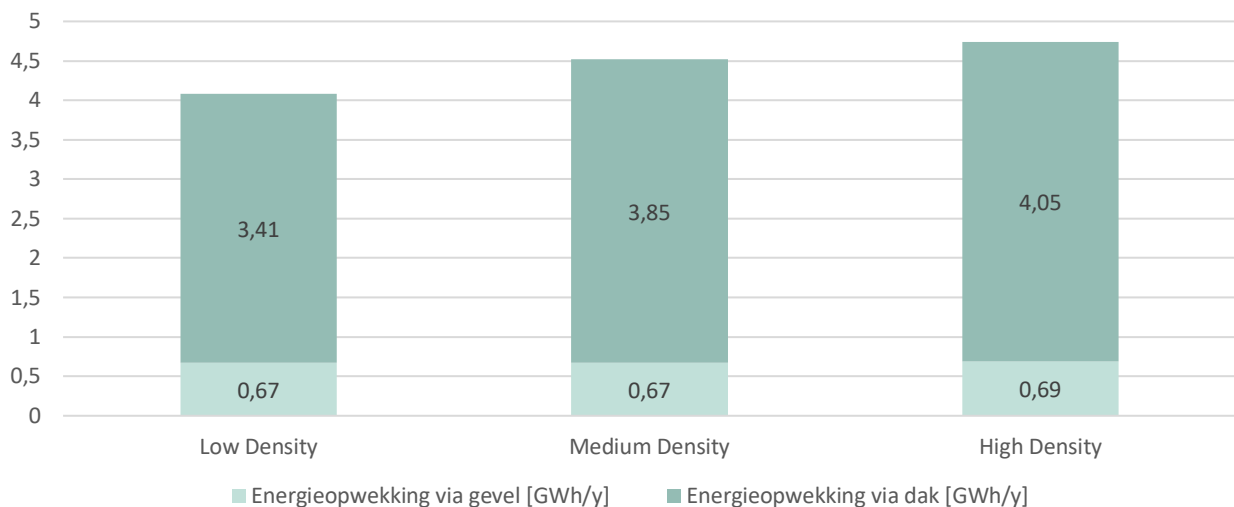


Figuur 6.1: Indicatie van de afstand tussen PV-panelen als deze onder een hoek op een plat dak geplaatst worden. Bron afbeelding: de-bruine.nl

Uit de resultaten blijkt dan ook dat slechts circa 10% van de totaal opgewekte zonne-energie van de gevels komt. Dit aandeel wordt naarmate de dichtheid toeneemt ook steeds kleiner doordat gebouwen steeds hoger worden en steeds dichter op elkaar staan.



Figuur 6.2: Impressie van het rekenmodel waarin de Honeybee software is gekoppeld aan het 3D-model van Posad Maxwan. Hoe roder het oppervlak, hoe hoger de zonstraling.



Figuur 6.3: Potentiële energieopwekking bij de verschillende bebouwingsdichtheden

Als gebouwen hoger worden zal de energievraag in het gebouw ook stijgen. Echter, het dakoppervlak blijft gelijk, waardoor de opgewekte energie nauwelijks toeneemt. Dit effect is te zien in de grafiek op de volgende pagina. Het verschil tussen de hoge en gemiddelde dichtheid is veel kleiner dan tussen de gemiddelde dichtheid en de lage dichtheid. Ergens in de optimalisatie zit dan ook een omslagpunt. Vanaf dat punt zal verder verdichten leiden tot een lagere energieopbrengst. Uit ons onderzoek blijkt dat dit omslagpunt niet veel verder ligt dan de variant met de hoge dichtheid, zie ook figuur 6.3.

## 6.2 Optimalisatie van de opbrengst

De bovenstaande berekening is slechts een eerste stap naar hoe de mogelijke energieopbrengst via PV verandert naarmate de dichtheid toeneemt. Om de opbrengst verder te verhogen is gekeken naar de volgende opties:

### *Veranderen van de oriëntaties*

In eerste instantie is gekeken wat een eventuele verandering van de oriëntaties voor een effect heeft op de totale energieopbrengst. Gezien de landschappelijke situatie is dit niet een heel logische optie, echter zou een kleine verandering van oriëntatie wel positief kunnen uitpakken voor de totale energieopbrengst.

### *Tweezijdig georiënteerde PV*

Door de PV panelen tweezijdig te oriënteren kunnen er veel meer op de daken geplaatst worden. Er is dan geen onderlinge schaduwwerking meer waardoor ze dichter op elkaar gelegd kunnen worden. Omdat de helft van de panelen nu op ZW en de helft op NO georiënteerd zijn, zal het gemiddelde rendement weliswaar lager zijn dan wanneer alle panelen op het zuidwesten liggen. Echter passen er wel meer panelen op het dak, zoals te zien is in figuur 6.4.



Figuur 6.4: Een alternatief voor panelen onder een hoek met dezelfde oriëntatie, is om ze tweezijdig oriënteren. Hierdoor kan de ruimte op het dak beter benut worden. Bron afbeelding: fritts.nl



Figuur 6.5: Een andere optie is om alle gebouwen uit te voeren met een schuin dak. Afhankelijk van de hellingshoek kan de opbrengst van de PV-panelen sterk verhoogd worden. Ook passen er meer panelen op een schuin dak dan op een plat dak. Bron afbeelding: kingspan.com

### Schuine daken

Door schuine daken toe te voegen aan de gebouwen kan het rendement van de panelen verhoogd worden, zonder de panelen zelf schuin ten opzichte van het dak te zetten. Hierdoor ontstaat er ook geen onderlinge schaduwwerking waardoor er ook nog eens meer panelen op de daken kunnen. In de onderzochte variant heeft elk gebouw nu een schuin dak. Afhankelijk van de gebouwvorm is dit dak op het zuidwesten of het zuidoosten georiënteerd. De hellingshoek van de daken varieert tussen de 8 en 11°. Dit is afhankelijk van de lengte en breedte van het gebouw.

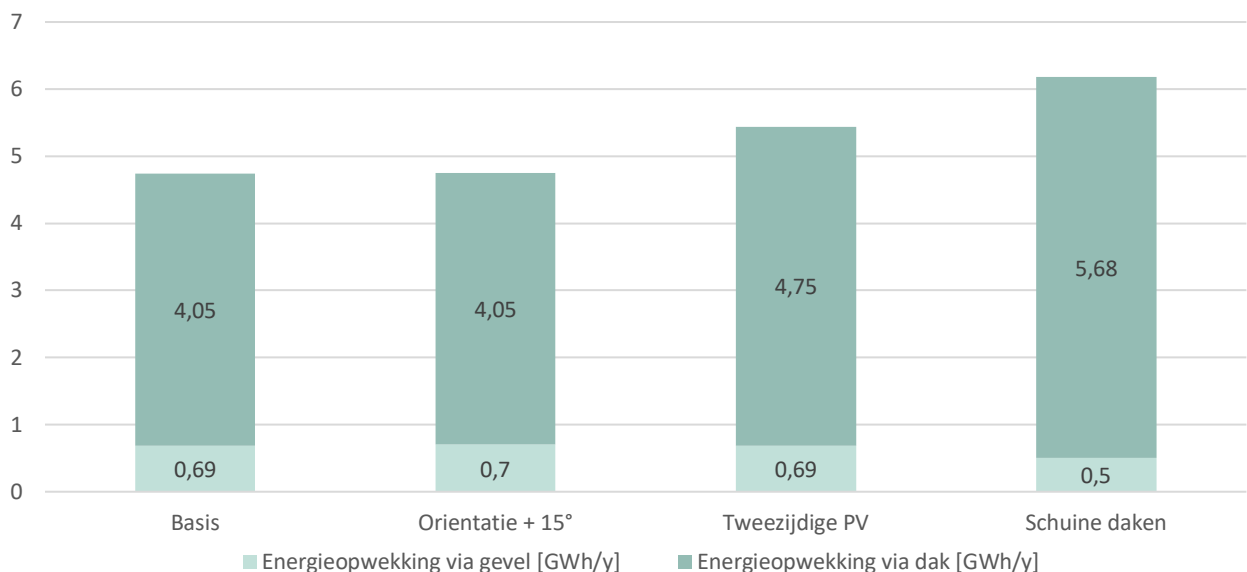
Uitzondering zijn de rijtjeshuizen, deze daken hebben een hellingshoek van circa 20°.

### 6.3 Resultaten

Uit de resultaten in figuur 6.6 blijkt dat een verandering in oriëntatie van de bouwblokken slechts tot een minimale toename in opbrengst ten opzichte van de basisvariant (plattendak, niet gedraaid, enkelzijdig georiënteerd) leidt. Enkel op de gevels kan er zo iets meer energie worden opgewekt, maar het verschil is verwaarloosbaar.

De tweede optie heeft echter een stuk meer effect. Ondanks dat de helft van de panelen nu op de minder zon belaste noordoostzijde liggen kan er toch meer energie opgewekt worden omdat er meer PV-panelen op het dak passen.

De grootste slag kan echter gemaakt worden door overal op de zon georiënteerde schuine daken toe te passen. Op die manier passen er nog meer PV-panelen op het dak en wordt de oriëntatie nog meer geoptimaliseerd. Wat opvalt is dat de opbrengst op de gevel wel afneemt, omdat de schuine daken meer slagschaduw veroorzaken. Echter wordt dit verlies op de gevel ruimschoots gecompenseerd door extra winst op de schuine daken.



Figuur 6.6: Potentiële opbrengsten van de PV-panelen in de verschillende varianten zoals in dit hoofdstuk besproken

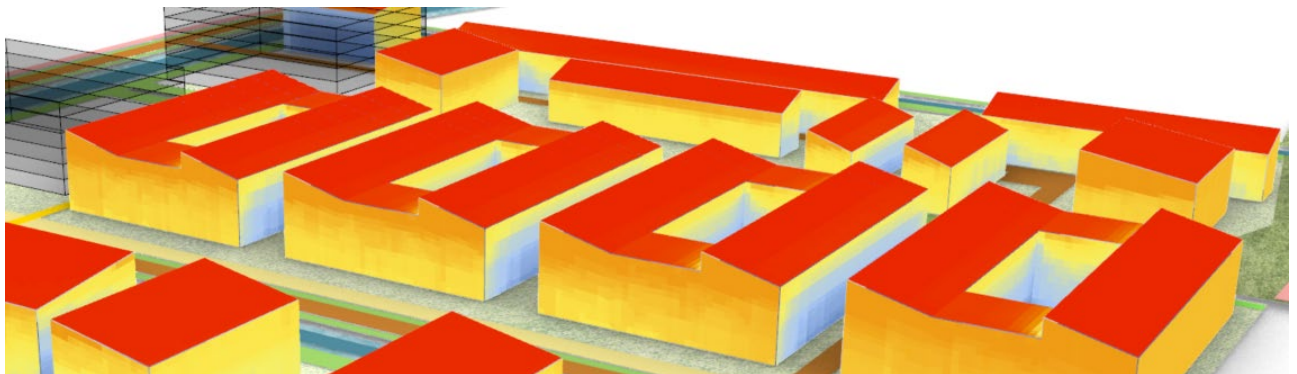
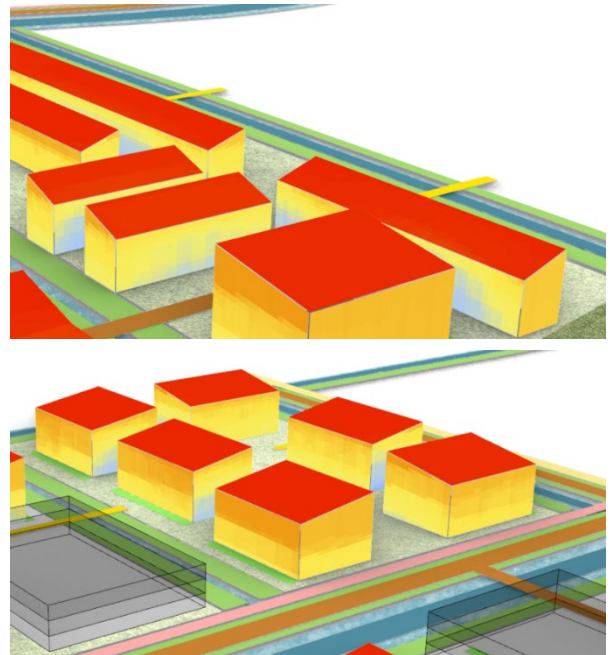
Door de positie van de PV-panelen en de gebouwwormen te optimaliseren kan er dus veel meer energie opgewekt worden. In de variant met tweezijdig georiënteerde PV neemt de opbrengst met 15% toe, in de variant met schuine daken zelfs met circa 30%. Deze extra energie is ook nodig om uiteindelijk naar een volledige Nul Op de Meter wijk te gaan.

#### 6.4 Conclusie

Uit deze studie blijkt dat de vorm van de bouwblokken in het stedenbouwkundig ontwerp een grote invloed heeft op de potentiële energieopwekking. De door Cauberg Huygen uitgevoerde optimalisatie laat zien dat door alle gebouwen met een op de zon georiënteerd schuin dak uit te voeren kan er tot 30% meer zonne-energie worden opgewekt.

Alle varianten laten zien dat het energieaandeel van PV op de gevel laag is. Dit komt deels omdat niet elk geveldeel geschikt is voor de plaatsing van PV. Door de groen ambitie van de wijk wordt veel groen toegepast. Daarmee rekening houdend blijft de onderste zes meter van de gevel altijd vrij van PV, aangezien deze (groten)deels beschaduwde kan worden. Daarnaast is het rendement van verticaal gepositioneerde panelen lager is dan van panelen op het dak.

Op basis van deze bevindingen is er samen met Posad Maxwan voor gekozen om de variant met schuine daken verder uit te werken. Er is bij de drie varianten uit het concept stedenbouwkundig plan besloten om alleen panelen op de daken te plaatsen. Reden hiervoor is dat er nog grote onzekerheid bestaat over in welke mate de PV-panelen op de gevel belemmerd gaan worden door onder andere groen. Om hier al rekening mee te houden wordt eerst geprobeerd om de Nul Op de Meter te halen met alleen PV op het dak. Waar nodig kan in de toekomst desgewenst ook de gevel nog gebruikt worden.



Figuur 6.7 tot en met 6.9: Verschillende impressies van het rekenmodel om de zonstraling te bepalen. In deze afbeeldingen zijn de schuine daken duidelijk te zien. De precieze uitwerking van deze daken dient in een later stadium bepaald te worden. Hoe roder het vlak hoe hoger de opbrengst per jaar.

## 7 Verkennende berekeningen TNO

TNO heeft verkennende berekeningen uitgevoerd aan de verschillende bouwtypen om te zien in hoeverre elk bouwtype NOM te krijgen is. In de berekeningen is het aantal woonlagen gevarieerd.

### 7.1 Rekenmodel TNO

De warmtevraag voor ruimteverwarming is berekend met een dynamisch rekenmodel, uitgaande van een binnentemperatuur van 20°C overdag en 19°C 's nachts. Het rekenmodel beschouwt de gehele woning op één en dezelfde temperatuur. Voor de isolatiewaarden van vloer (Rc 3,7 m<sup>2</sup>K/W), gevel (Rc 4,7 m<sup>2</sup>K/W), dak (Rc 6,3 m<sup>2</sup>K/W) en ramen (U 1,2 M/m<sup>2</sup>K) zijn de minimale eisen uit het bouwbesluit gehanteerd. De warmtevraag voor warm tapwaterbereiding is vrijwel gelijk gekozen aan de NOM eis van 880 kWh per persoon per jaar en is aangenomen dat er 2 personen in de woning aanwezig zijn.

Voor het elektragebruik per appartement of woning is de NOM eis aangehouden van 26 kWh/m<sup>2</sup>y, met een ondergrens 1800 kWh/a en een bovengrens van 2600 kWh/y. Hierbij is opgeteld een vaste waarde van 150 kWh/y voor hulpenergie.

Het rekenmodel berekent ook de koelvraag. Deze berekening is gevoelig voor een aantal aannames, waarvan de belangrijkste zijn:

- De koeling gaat AAN als de binnentemperatuur hoger wordt dan 25°C, en weer UIT als de binnentemperatuur onder de 23°C daalt.
- Er is automatische zonwering op de ZO en ZW-georiënteerde gevels die omlaag gaat als de binnentemperatuur hoger wordt dan 22°C én de zonbelasting op de gevel hoger is dan 250 W/m<sup>2</sup>.
- De bewoners openen ramen als de binnentemperatuur hoger wordt dan 22°C én de koeling UIT staat. Dit laatste heeft vooral effect in de tussenseizoenen.

De energieopwekking van de PV-panelen is per gebouw bepaald, beperkt door het beschikbare dakoppervlak. Ook in de TNO berekeningen zijn er in eerste instantie geen PV-panelen op de gevel verondersteld vanwege de beperkte opbrengst door beschaduwing. Er is aangenomen dat de PV-panelen op het dak op het ZO of het ZW zijn georiënteerd en onder een hellingshoek zijn gemonteerd die wordt bepaald door een maximaal hoogteverschil van 3m en de breedte van het



Figuur 7.1: Netto energievraag per bouwtype in MWh/y, inclusief opgewekte stroom uit PV-panelen. Een positief getal wil zeggen een energieoverschot, een negatief getal een energietekort.

gebouw. De hellingshoek varieert dus per gebouwtype. Hierbij zijn dezelfde aannames gedaan als die in hoofdstuk 6.

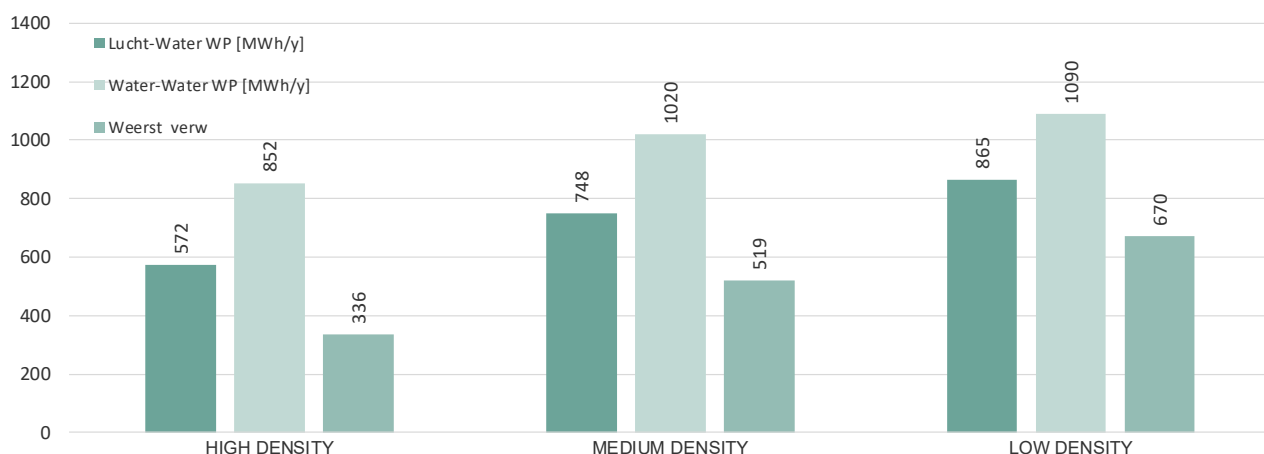
## 7.2 Resultaten per gebouwtype

De resultaten zijn weergegeven in figuur 7.1. Deze toont de netto energievraag per gebouwtype in MWh/y, inclusief de opgewekte stroom uit PV-panelen. Een positief getal wil zeggen een energieoverschot, een negatief getal een energietekort. Figuur 7.1 toont dat vooral het hofgebouw met 2 woonlagen galerijwoningen een netto energieproducent is. De urban villa met 4 woonlagen, de toren met 4 woonlagen en de kleine urban villa met 2 woonlagen zijn (vrijwel) NOM, De urban villa met 6 woonlagen en de toren met 6 woonlagen hebben een energietekort, dat moet worden aangevuld met een energieoverschot van andere gebouwen of van PV-panelen op de parkeerhubs om de wijk als geheel NOM te krijgen. Deze exercitie is ook uitgevoerd met platte daken. De opbrengst van de PV-panelen is dan aanzienlijk lager en dan blijken alle gebouwtypen netto een energietekort te hebben.

## 7.3 Resultaten gehele wijk in 3 dichtheden

Op basis van de door Posan Maxwan opgegeven aantallen gebouwen van de verschillende typen is de energievraag voor de gehele wijk berekend. Dit is gedaan voor drie dichtheiten, high, medium en low.

De resultaten voor het geval van PV-panelen op hellende daken zijn weergegeven in figuur 7.2. Een positief getal wil zeggen dat de wijk een energieoverschot heeft. Hieruit blijkt dat de wijk in alle drie dichtheiten energieleverend is. Van de drie onderzochte concepten scoort het concept met de water-water warmtepomp het best en dat met weerstandsverwarming het slechtst.



Figuur 7.2: Energievraag in MWh/y voor de gehele wijk inn drie dichtheiten, op basis van door Posan Maxwan opgegeven aantallen gebouwen van verschillende typen en met PV-panelen op hellend daken. Een positief getal wil zeggen een energieoverschot.

## 7.4 Conclusies

De resultaten leiden tot de volgende conclusies.

- Bij PV panelen op hellende daken zijn de gebouwtypen met 6 verdiepingen energievragend, de overige gebouwtypen zijn (vrijwel) NOM of energieleverend.
- Bij PV panelen op hellende daken is de wijk in varianten High, Medium en Low densiteit NOM of beter te maken, ook zonder PV-panelen op parkeerhubs.
- Bij PV-panelen op platte daken zijn vrijwel alle gebouwen/concepten energievragend.
- Bij PV-panelen op platte daken én PV-panelen op 8 parkeerhubs is de wijk enkel NOM te maken bij concept 2 in Medium densiteit en bij alle 3 concepten in Low densiteit.

## 7.5 Vergelijking berekeningen TNO-CH

Zoals opgemerkt, gebruiken TNO en Cauberg Huygen verschillende instrumenten om de energievraag van de gebouwen te berekenen. Voor het geval van de kleine Urban Villa zijn de uitkomsten van de berekeningen vergeleken.

De totale energievraag wordt vrijwel gelijk berekend (6% verschil), maar zijn er op onderdelen verschillen. Belangrijkste verschil is dat de energievraag voor ruimteverwarming in de TNO-berekening aanzienlijk kleiner dan die in de berekening van Cauberg Huygen, waar tegenover staat dat de koelvraag bij TNO aanzienlijk groter is dan die bij Cauberg Huygen. Vanwege de lage COP voor ruimteverwarming in concept 3, scoort dit concept bij Cauberg Huygen (veel) slechter dan concept 1 en 2, waar bij TNO de verschillen tussen de concepten kleiner zijn.

Echter, concept 3 is minder robuust voor afwijkend (energie-gerelateerd) bewonersgedrag. Zo zal het

openen van ramen in het stookseizoen leiden tot een hogere warmtevraag en, bij concept 3 veel meer dan bij concepten 1 en 2, tot een hogere elektriciteitsrekening. Om die reden acht TNO concept 3 minder geschikt voor het realiseren van NOM gebouwen of een NOM wijk.

## 8 NOM per bouwtype

Tot nu toe is er op woningniveau naar de energievraag en op wijkniveau naar het energieaanbod gekeken. In dit hoofdstuk zullen deze twee waarden worden gecombineerd en toegepast op de verschillende bouwtypen die gerealiseerd worden in het plangebied.

### 8.1 Energievraag per bouwtype

In hoofdstuk 5 is ingegaan op hoe de energievraag per vierkante meter reageert op het aanpassen van verschillende bouwkundige eigenschappen. Hiermee werd inzichtelijk gemaakt dat de positie in het gebouw of de oriëntatie tot een andere energievraag per woning kan leiden. Om vervolgens de energievraag per gebouw te bepalen wordt eerst voor elke woning in dat gebouw bepaald wat voor type het is. Dus of het een hoekwoning of een tussenwoning is, of het op de begane grond, een tussenverdieping of juist op de bovenste laag ligt. Aan de hand van deze categorieën kan dan aan elke unieke woning een energievraag per vierkante meter worden toegekend. Vervolgens wordt deze energievraag

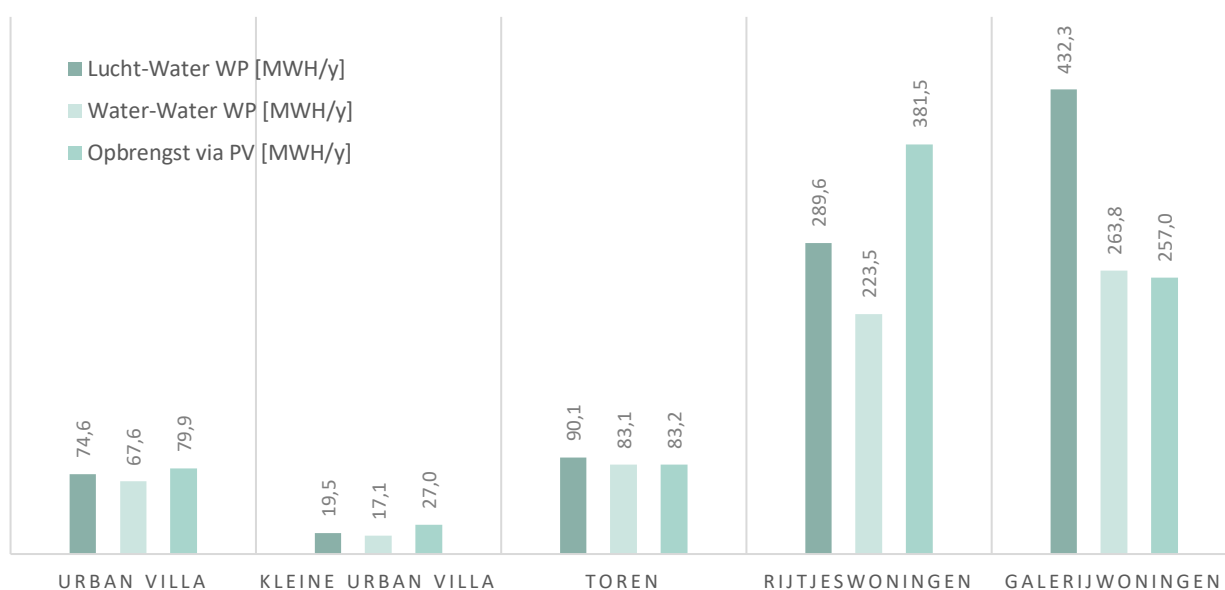
vermenigvuldigd met de oppervlakte van de woning en worden alle woningen bij elkaar opgeteld. De waarde die hier vervolgens uitkomt is de totale energievraag per woongebouw.

### 8.2 Energieaanbod per bouwtype

De opbrengsten van de PV-panelen in hoofdstuk 5 zijn op wijkniveau. Die waarden geven aan hoeveel energie er in de totale wijk, op alle woongebouwen samen, opgewekt kan worden. Echter zijn sommige gebouwen groter dan anderen en verschilt de opgewekte energie per gebouw sterk. In dit hoofdstuk wordt er per bouwtype een energiebalans opgezet. Hierin is enkel de energie die op dat specifieke gebouw kan worden opgewekt meegenomen.

### 8.3 Resultaten

In de grafiek, figuur 8.1, zijn per bouwtype drie waarden gegeven. De meest rechter waarde is de energieopwekking via PV panelen, het uitgangspunt hier is een stedenbouwkundig ontwerp met schuine daken. In overleg met de stedenbouwkundige is er bewust voor gekozen om alleen met PV-panelen op het dak te rekenen.



Figuur 8.1: Weergave van de berekende energiebalans van de verschillende bouwtypen. De rechter van de drie kolommen geeft de potentiële opgewekte energie aan. De meest linkse en middelste kolom geeft de energievraag bij toepassing van de verschillende installatie concepten weer. [aantal woonlagen per bouwtype: Urban Villa 4, Kleine Urban Villa 2, Torens 4 en Galerijwoningen 3].



Aangezien er ook een hoge ambitie voor vergroening van de wijk bestaat, zal een aanzienlijk deel van de gevels (onderste 2 bouwlagen) beschaduwd worden.

Naast de energieopwekking zijn twee varianten van de energievraag weergegeven. De meest donkere kleur is de energievraag als er een installatieconcept met een luchtwarmtepomp is toegepast. Dit concept heeft een lager rendement dan een concept met een warmtepomp op grondwater, welke weergegeven is in het midden, met een lichtgroene kleur.

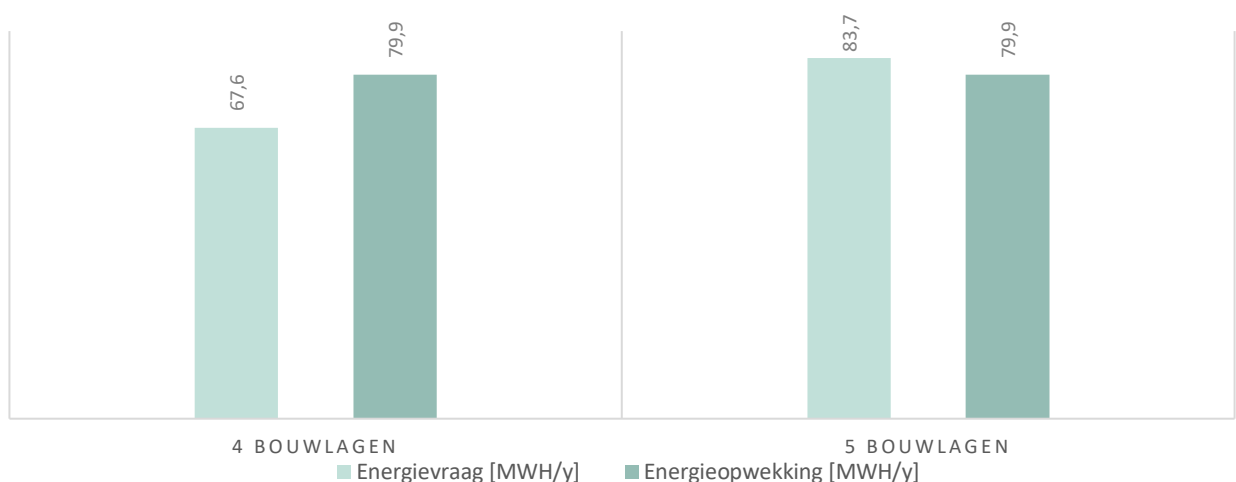
Met een installatieconcept met een warmtepomp op grondwater blijkt dat vrijwel alle gebouwtypen een positief energietoestand hebben: er wordt meer energie opgewekt dan dat er verbruikt wordt. Enkel bij de galerijwoningen is er een negatief saldo en bij de toren is het saldo nagenoeg nul. De andere gebouwen hebben een veel groter energieaanbod dan -vraag.

Bij een concept met een luchtwarmtepomp is dit niet het geval. Te zien is dat de galerijwoningen nu een veel groter energietekort hebben en dat ook de toren nu een negatief saldo heeft. De andere typen wekken nog steeds meer op dan dat ze verbruiken, maar de marge wordt wel kleiner.

#### 8.4 Effect van een extra bouwlaag

Ten slotte is het effect van het toevoegen van een extra bouwlaag op de energiebalans onderzocht. Voor deze studie is een Urban Villa gebouw genomen en is er een extra verdieping aan toegevoegd. In de originele situatie bestond dit gebouw nog uit 16 woningen, met de extra bouwlaag worden dit er nu 20. De effecten op de energie balans zijn hier onder weergegeven. Omdat er geen extra dakoppervlak is, blijft de opgewekte energie gelijk. Als er ook PV op de gevel zou zijn, kan hier wel extra energie mee worden opgewekt, maar deze extra winst zou minimaal zijn.

Er wordt dus geen extra energie opgewekt, maar door de vier extra woningen stijgt de energievraag wel en verandert het gebouw dus van een energieleverend gebouw, naar een energievragend gebouw. Dit principe geldt voor alle gebouwen. Een extra bouwlaag zorgt voor een hogere energievraag, maar als het dakoppervlak gelijk blijft, kan er geen extra energie worden opgewerkt.



Figuur 8.2: Het toevoegen van een extrabouwlaag zorgt voor een hogere energievraag, maar doordat het dakoppervlak niet toeneemt, blijft de opgewekte energie gelijk. Hierdoor verandert het gebouw van energieleverend naar energievragend.

## 9 NOM per Dichtheid

Of het stedenbouwkundig plan volledig Nul Op de Meter is hangt af van hoe vaak de verschillende gebouwtypes voorkomen. Zo hebben de galerijwoningen een negatief saldo. Dus als er daar veel van in een ontwerp zitten, zal het lastig zijn om die energievraag te compenseren met andere gebouwtypes.

De rijtjeswoningen en (kleine) Urban Villa's hebben juist het grootste energieoverschot. Met veel van die typen is het gemakkelijker om de wijk volledig Nul Op de Meter, of zelfs energieleverend te maken. De energie die deze gebouwen extra produceren kan worden gebruikt in de gebouwen die energievragend zijn.

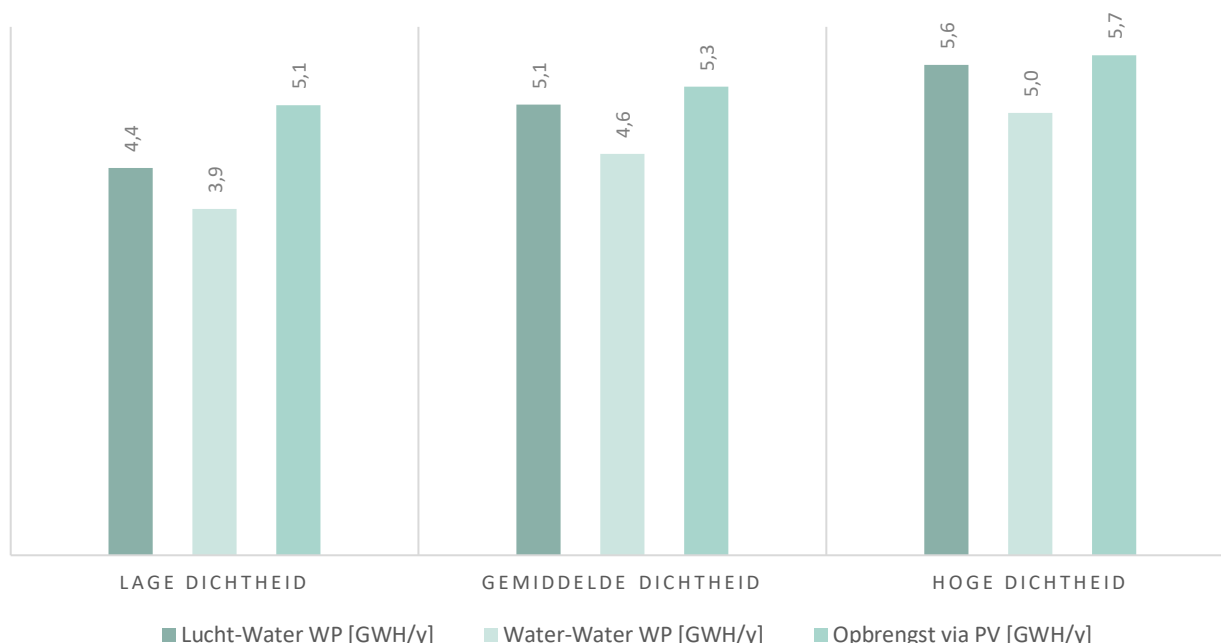
In de grafiek, figuur 9.1, zijn de drie varianten in dichtheid weergegeven: Laag, Gemiddeld en Hoog. Voor elk van deze dichtheden is de totale energieopwekking weergegeven, in de meest rechter kolom. De donkergroene, linker kolom is de energievraag als het installatie concept met de lucht-waterwarmtepomp wordt toegepast. De

middelste kolom is de energievraag bij een systeem met een warmtepomp op grondwater.

Uit deze grafiek blijkt dat alle drie de dichtheden meer energie kunnen opwekken dan dat ze nodig hebben. Dat geldt voor zowel een systeem met een lucht-waterwarmtepomp als een met een warmtepomp op grondwater. Bij een systeem op grondwater is het energie overschot wel groter dan bij een lucht-waterwarmtepomp.

Naarmate de dichtheid toeneemt neemt het energiesaldo steeds verder af. Dit houdt in dat als er nog verder verdicht wordt dan het huidige "Hoge Dichtheid" concept er mogelijk een negatief energiesaldo ontstaat. De wijk heeft dan meer energie nodig dan dat het zelf kan opwekken en is dus niet meer Nul Op de Meter. Dit hangt ook af van welk energieconcept er toegepast gaat worden.

Met de huidige dichtheden en energieconcepten is het dus haalbaar om op wijkniveau naar Nul Op de Meter te gaan.



Figuur 9.1: Weergave van de berekende energiebalans op wijkniveau. De potentiële energieopwekking staat opnieuw rechts, de twee installatie concepten links en midden.

## 10 NOM voor definitief ontwerp

Op basis van de in hoofdstuk 5 tot en met 9 uitgevoerde berekeningen is er een definitief stedenbouwkundig ontwerp opgesteld door Posad Maxwan. In dit definitieve ontwerp is ruimte aanwezig voor maximaal 1469 woningen (excl. centrum), waarmee de wijk nog verder wordt verdicht ten opzichte van de drie eerder doorgerekende varianten. Dit aantal van 1469 is het maximaal aantal woningen wat kan worden gerealiseerd binnen de bouwvolumes van het stedenbouwkundig plan. Het uiteindelijke aantal woningen kan hierdoor nog naar beneden bijgesteld worden na invulling van het definitieve ontwerp van de woongebouwen. Voor de berekening van de energiebalans in de wijk is voor nu echter uitgegaan van dit theoretisch maximum van 1469 woningen. De 3D impressie met daarin het definitieve stedenbouwkundig ontwerp van de wijk is te zien in figuur 10.1

Naast een verdere verdichting is er met de Herenwoningen ook een nieuw woningtype toegevoegd aan de wijk. Deze grondgebonden eengezinswoningen zijn gerealiseerd in plaats van een deel van de galerijwoningen in de hofgebouwen, waardoor er slechts één blok met galerijwoningen overblijft in het definitieve ontwerp. De overige drie hofgebouwen bestaan nu uit deze Herenwoningen, gecombineerd met Urban Villas op de kopzijde.

Ook is er meer diversiteit gecreëerd in de verschillende Urban Villas en Torens in de wijk. Waar deze gebouwen in het voorlopig ontwerp nog allemaal bestonden uit bouwlagen met respectievelijk vier en zeven woningen per laag, varieert dit aantal in het definitief ontwerp tussen de vier en acht woningen per bouwlaag.

Ten slotte zijn er, ten opzichte van de eerdere ontwerpvarianten, ook een aantal commerciële functies en zorgwoningen toegevoegd aan de wijk.

Deze functies bevinden zich vooral op de begane grond van de gebouwen in de dichtst bebouwde delen van de wijk. Omdat deze utiliteitsfuncties ook energie verbruiken worden deze ook opgenomen in de energiebalans op wijkniveau. Voor de bepaling van het energieverbruik van deze functies zijn dezelfde bouwkundige en installatietechnische uitgangspunten als bij de woningen aangehouden.

Met bovengenoemde wijzigingen bestaat het definitief ontwerp van de wijk uit de volgende woningaantallen en oppervlaktes aan utiliteitsfuncties:

1369	Woningen
100	Zorgwoningen
5360 m <sup>2</sup>	Utiliteitsfuncties

Zoals benoemd vallen de woningen en utilitaire functies in het centrumgebied buiten de beoordeling van deze studie. Deze zijn dus niet meegenomen in bovengenoemde aantallen.

De wijzigingen zorgen voor een toename van de energievraag in de wijk, ten opzichte van de eerdere varianten. Tegelijkertijd is er slechts beperkt extra dak oppervlakte gecreëerd, waardoor het toevoegen van de extra woningen en commerciële ruimtes een negatief effect heeft op de energiebalans in de hele wijk. Dit is te zien in figuur 10.2 op de volgende pagina.



Figuur 10.1: 3D impressie van het definitieve ontwerp voor de wijk Lincolnpark. Hierin is gelijk te zien dat de dichtheid in de wijk nog verder verhoogd is ten opzichte van de eerder doorgerekende varianten. In deze variant zijn 1469 woningen aanwezig, wat het theoretisch maximum is voor de wijk..

## 10.1 Energiebalans

Uit de grafiek in figuur 10.2 valt op dat met de extra woningen en commerciële ruimtes de totale energievraag van de wijk sterk is toegenomen ten opzichte van de eerdere varianten. Links in deze figuur is de energiebalans van de variant met hoge dichtheid weergegeven, zoals ook in hoofdstuk 9 te zien is. Rechts is de nieuwe energievraag en het nieuwe aanbod te zien, gebaseerd op het definitieve ontwerp. Voor zowel de variant met een lucht-water warmtepomp als die met een water-water warmtepomp geldt dat de totale energievraag in de wijk sterk is toegenomen. Tegelijkertijd is te zien dat de hoeveelheid opgewekte energie via PV-panelen op het dak nauwelijks is toegenomen. Hieruit kan worden geconcludeerd dat het definitief ontwerp van de wijk met zowel een lucht-water warmtepomp als een water-water warmtepomp niet meer Nul Op de Meter is met alleen PV-panelen op de daken van de gebouwen.

## 10.2 PV-panelen op de gevels

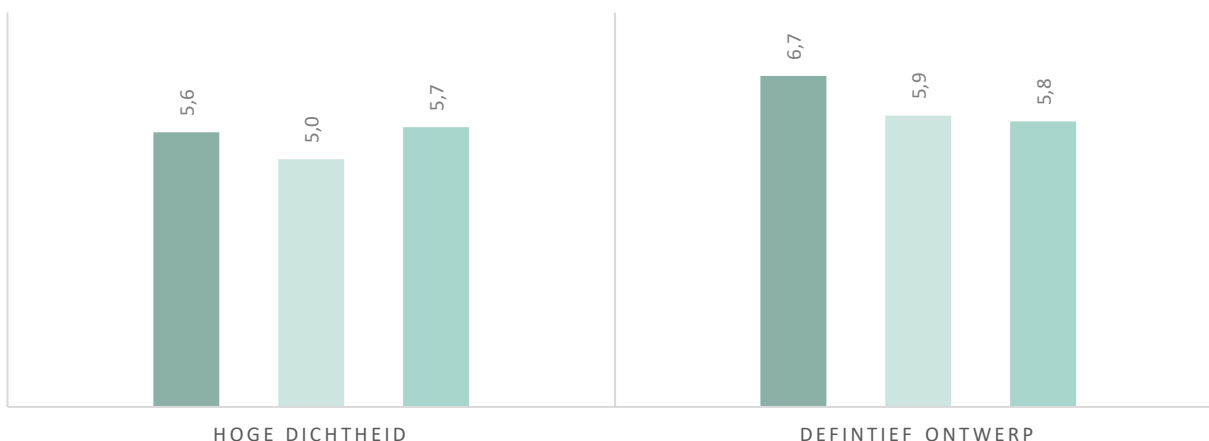
Uit figuur 10.2 blijkt dat, afhankelijk van het installatieconcept, de wijk 0,1 tot 0,9 GWh aan zonne-energie te kort komt om volledig Nul Op de Meter te worden. Om dit alsnog te bereiken dient het gat tussen de energievraag en het aanbod te worden overbrugd middels PV-panelen op de gevel.

Om een realistische inschatting te maken van de energieopwekking met PV-panelen in de gevel zijn er een aantal aannames gedaan over het opwekkingsrendement van de panelen. Voor gevel PV is gerekend met een jaarlijkse energie opwekking van 130 kWh/m<sup>2</sup>, bij een minimale beschaduwing, een lager rendement dan de panelen op de daken. Dit wordt veroorzaakt doordat PV-panelen op gevels vaak ook een esthetische kwaliteit dienen te hebben, wat ten koste gaat van het opwekkingsrendement van de panelen. In de berekening wordt, door hier rekening mee gehouden, al op vooruit gelopen.

Daarnaast is niet elke gevel geschikt voor PV-panelen. De geveldelen die gebruikt zullen worden voor PV dienen daarom altijd te voldoen aan de volgende voorwaarden:

- Geveldelen tot 6 meter boven het maaiveld worden niet meegenomen wegens het aanwezige groen in de wijk.
- Een geveldeel dient jaarlijks minimaal 55% van de maximale instraling te ontvangen. Sterk beschaduwde gevels worden niet gebruikt voor de energieopwekking.

Welke gevels gebruikt dienen te worden voor gevel-PV hangt af van het installatieconcept. Dit zal worden besproken in de volgende paragrafen.



Figuur 10.2: Weergave van de berekende energiebalans op wijkniveau van de eerder gepresenteerde "hoge dichtheid" en het definitieve ontwerp van de wijk. De potentiële energieopwekking staat opnieuw rechts, de twee installatie concepten links en midden.

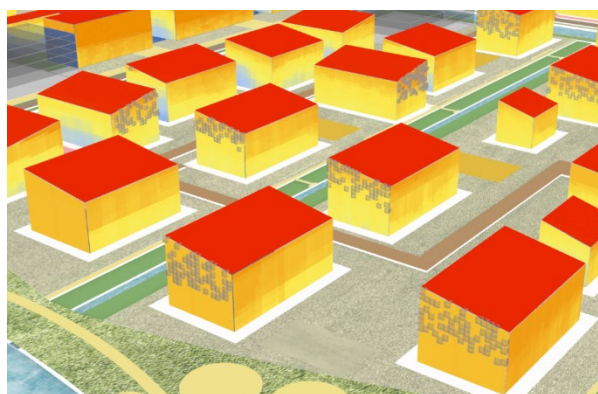
### 10.3 NOM bij een Water-Water Warmtepomp

In figuur 10.4 is de energiebalans van de verschillende gebouwtypes weergegeven na toevoeging van PV panelen op de gevel. Om naar Nul Op de Meter te gaan bij het installatieconcept met een water-water warmtepomp zijn er alleen aanvullende PV-panelen op de torens benodigd. Dit is tevens het gebouwtype met de meest negatieve energiebalans wanneer er alleen PV op het dak gelegd wordt. De volgende uitgangspunten zijn aangehouden bij de berekening van de energieopwekking via de PV-panelen op de gevel:

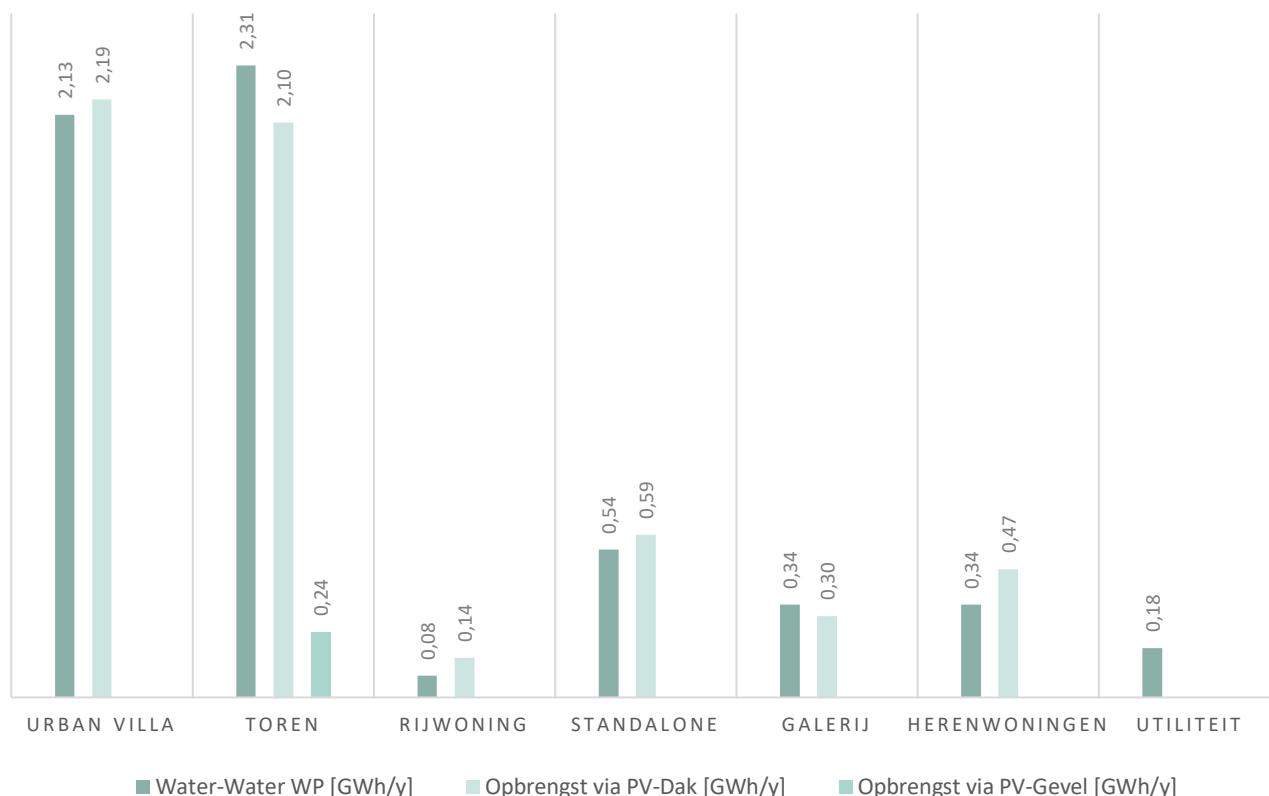
#### Torens:

Alle zuidgeoriënteerde kopgevels van de torens worden voor 40% gebruikt voor energieopwekking via PV-panelen. In figuur 10.3 is van een aantal torens te zien welke geveldelen geschikt zijn voor PV-panelen. Hierin is ook duidelijk zichtbaar dat er

tot 6 meter van het maaiveld en op sterk beschaduwde stukken geen panelen geplaatst worden. Dit is meegenomen in de berekening van de totale energieopwekking.



Figuur 10.3: Impressie van een mogelijk gevelbeeld bij het toevoegen van gevel PV op de kopgevels van de torens (de gevels met de grijze pixels). In totaal dient bij het concept met een water-water warmtepomp 40% van deze gevels te worden voorzien van PV-panelen.



Figuur 10.4: Weergave van de totale energiebalans per gebouwtype in het definitieve ontwerp van de wijk bij gebruik van het installatieconcept met water-water warmtepompen. De potentiële energieopwekking is uitgesplitst in opwekking via het dak en de gevels.

#### 10.4 NOM bij een Lucht-Water Warmtepomp

In figuur 10.6 is een vergelijkbare energiebalans weergegeven, maar nu voor het concept met de lucht-water warmtepomp. Omdat dit concept een hogere energievraag heeft zijn er hier ook meer PV-panelen op de gevels nodig om naar Nul Op de Meter te gaan. Voor de Torens, Urban Villas en Galerijwoningen zijn de volgende uitgangspunten aangehouden bij het berekenen van de energieopwekking via de PV-panelen op de gevel:

##### Torens:

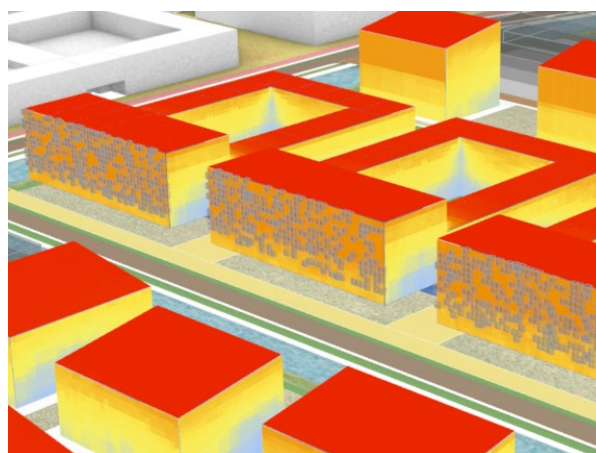
Alle zuidgeoriënteerde kop- en langsgevels van de torens worden gebruikt voor energieopwekking via PV panelen. Om in de energiebehoefte te kunnen voldoen dient op zowel de kop- als de langsgevels 40% van het geveleppervlak te worden gebruikt voor PV-panelen

##### Urban Villas:

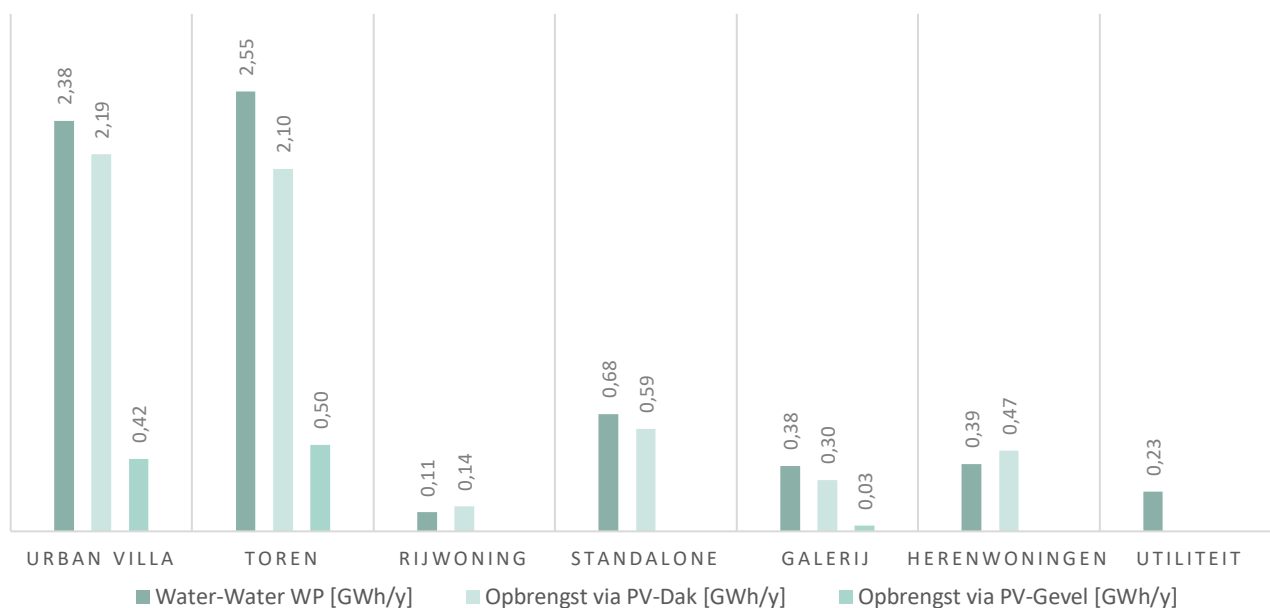
Ook voor de Urban Villas geldt dat zowel de kop- als langsgevels voor 40% gebruikt dienen te worden voor energieopwekking. Ook hier geldt dit alleen voor de zuidgeoriënteerde gevels.

##### Galerijwoningen:

Op de grote zuidwestgevels van de galerijwoningen dient ook 40% van het geveleppervlak te worden gebruikt voor PV-panelen. De andere gevels van dit gebouw zijn te belemmerd om te gebruiken voor energieopwekking. Hier zijn dan ook geen PV-panelen benodigd.



Figuur 10.5: Impressie van een mogelijk gevelbeeld bij het toevoegen van gevel PV op de zuidwestgevels van de Urban Villas (de gevels met de grijze pixels).



Figuur 10.6: Weergave van de totale energiebalans per gebouwtipe in het definitieve ontwerp van de wijk bij gebruik van het installatieconcept met lucht-water warmtepompen. De potentiële energieopwekking is uitgesplitst in opwekking via het dak en de gevels.

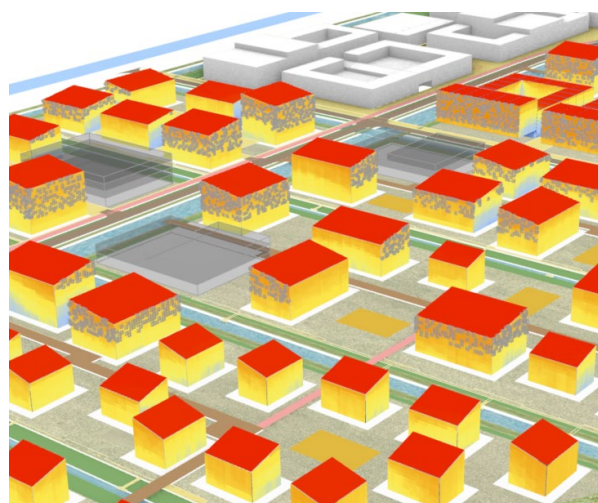
## 10.5 Conclusie

Uit figuur 10.8 blijkt dat met de extra toegevoegde PV-panelen op een deel van de gevels genoeg energie opgewekt kan worden om op wijk niveau naar Nul Op de Meter te gaan. Om dit te bereiken met een installatieconcept op basis van lucht-water warmtepompen zijn echter wel meer PV-panelen op de gevels nodig dan wanneer er voor een concept met water-water warmtepompen gekozen wordt.

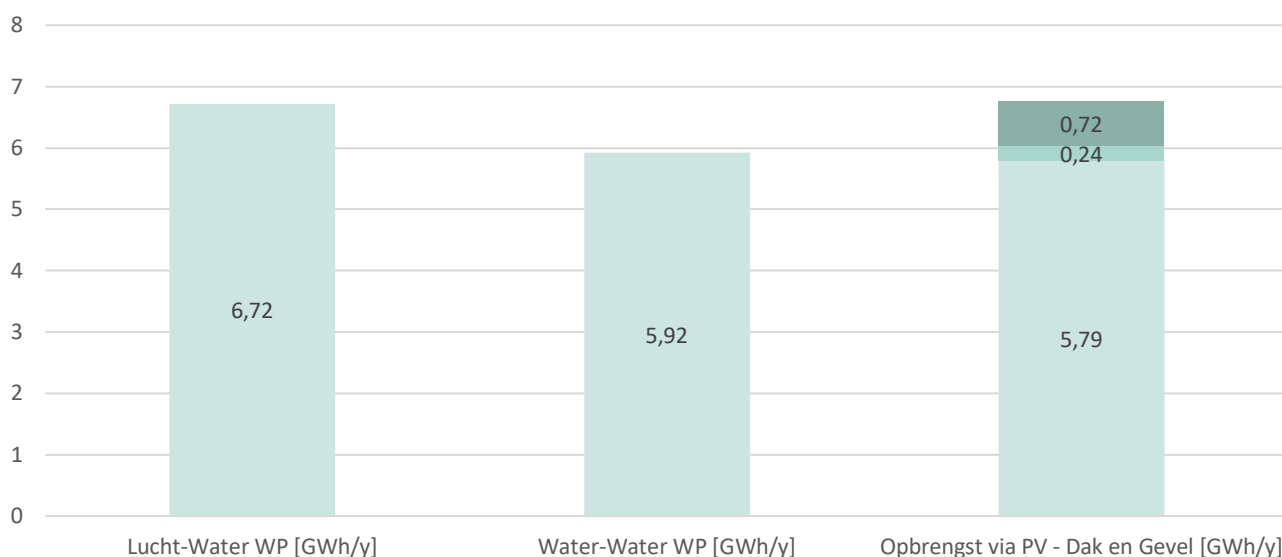
Met een water-water warmtepomp dienen alleen de zuid georiënteerde kopgevels van de torens gebruikt te worden voor de energieopwekking. Met dit extra oppervlak aan PV-panelen kan jaarlijks 0,24 GWh aan extra energie worden opgewekt. Samen met de 5,79 GWh, wat jaarlijks op de daken kan worden opgewekt, kan hiermee genoeg energie worden opgewekt om met dit installatieconcept op wijkniveau naar Nul Op de Meter te gaan.

Voor de variant met lucht-water warmtepompen zijn echter nog meer PV-panelen op de gevels nodig. Bovenop de gevels die nodig zijn in de variant met water-water warmtepompen dienen nu

ook de langsgevels van de torens en zowel de kop- en langsgevels van de Urban Villas te worden gebruikt voor energieopwekking. Ook dient de zuidwestgevel van de galerijwoningen te worden benut. Met deze extra PV panelen kan nog eens 0,72 GWh per jaar aan extra energie worden opgewekt. Hiermee kan ook met een lucht-water warmtepomp een Nul Op de Meter wijk worden gerealiseerd.



Figuur 10.7: Impressie van een mogelijk gevelbeeld wanneer meerdere gebouwen in de wijk worden voorzien van PV-panelen op de gevels (de gevels met grijze pixels). Omdat dit voor een bepalend beeld zorgt in de wijk, is er in de berekening rekening mee gehouden dat de PV-panelen geen optimale positie of kleur hebben.



Figuur 10.8: Energievraag voor beide installatieconcepten in GWh/y. De kolom rechts laat de potentiële energieopwekking via het dak en de geveldelen zien. Hieruit blijkt dat der met een Water-Water warmtepomp slechts 0,24 GWh/y aan energieopwekking via de gevel nodig is. Met een Lucht-Water warmtepomp is dat 0,96 GWh wat via PV panelen op de gevels dient te worden opgewekt.

## 11 Conclusie

In opdracht van de Gemeente Haarlemmermeer is door Cauberg Huygen, TNO en Posad Maxwan een haalbaarheidsstudie gedaan naar de mogelijkheid van het realiseren van Nul Op de Meter woningen in de toekomstige wijk Lincolnpark. Het doel van deze studie was om inzicht te krijgen in hoeverre de wijk verdicht kan worden, waarbij nog steeds een Nul Op de Meter wijk gerealiseerd kan worden.

Door Posad Maxwan zijn vier stedenbouwkundige varianten opgesteld, elk met een steeds hogere dichtheid. TNO heeft vervolgens onderzoek gedaan mogelijke energie-/installatieconcepten die over 3 tot 5 jaar beschikbaar zullen zijn. Hieruit zijn een drietal haalbare installatieconcepten geselecteerd en verder uitgewerkt. Op basis van deze concepten is door Cauberg Huygen de totale energievraag van de wijk conform de NTA 8800 berekend.

Bij het bepalen van deze energievraag zijn een aantal aannames gedaan, welke allemaal zijn

vernoemd in hoofdstuk 5. Door zowel TNO als Cauberg Huygen zijn verschillende variantenstudies gedaan naar het effect van bepaalde ontwerpingsrepen op de totale energievraag, zoals in voorgaande hoofdstukken beschreven. Deze variantenstudies kunnen als leidraad dienen in latere ontwerpfasen van dit plangebied.

Door Cauberg Huygen is een optimalisatie studie uitgevoerd op voor de drie varianten uit het concept stedenbouwkundig plan, zoals in hoofdstuk 6 beschreven, waarmee is aangetoond dat er voldoende energie kan worden opgewekt om de volledige wijk Nul Op de Meter te maken. Dit wordt gerealiseerd door het grootschalig toepassen van PV-panelen op de zon georiënteerde schuine daken en aanvullende panelen op een deel van de zongeoriënteerde gevels. Door TNO is een vergelijkbare studie uitgevoerd op gebouwniveau, zoals beschreven in hoofdstuk 7 tot en met 9.

Uit de berekeningen en analyses blijkt dat het bij alle vier de stedenbouwkundige varianten mogelijk is om op wijkniveau naar Nul Op de Meter te gaan.



Figuur 11.1: Impressie van de zonintensiteit in de wijk. Deze is berekend met Honeybee 1.1.0 en is toegepast op het 3D model van Posad Maxwan.



Bij de eerste drie ontwerpvarianten kon dit worden bereikt met alleen PV-panelen op het dak, zoals beschreven is in hoofdstuk 9. Voor zowel het installatieconcept met een lucht-water als met een water-water warmtepomp kon er met PV-panelen op het dak voldoende energie worden opgewekt om een Nul Op de Meter wijk te creëren.

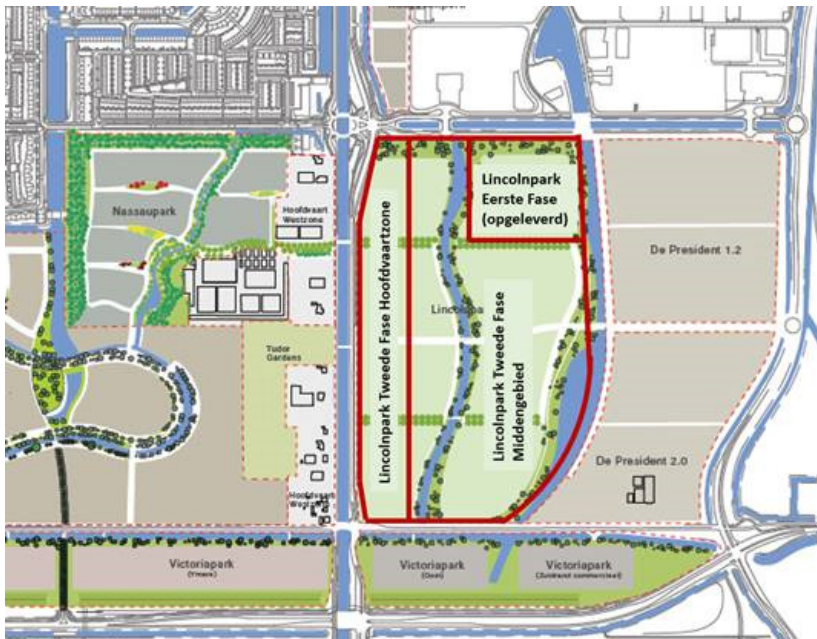
Voor de vierde variant, met daarin het theoretisch maximaal aantal woningen, zijn er naast de PV-panelen op de daken, aanvullende panelen op een deel van de gevels benodigd om naar Nul Op de Meter te gaan. Afhankelijk van het gekozen installatieconcept dient een deel van de

zuidgeoriënteerde gevels te worden gebruikt voor energieopwekking, zoals beschreven in hoofdstuk 10. Met deze PV-panelen op de gevels is het mogelijk om met beide warmtepompconcepten op wijkniveau naar Nul Op de Meter te gaan.

Kijkend op gebouwniveau, zijn er bij alle ontwerpvarianten wel verschillen tussen de gebouwtypes. Enkele types zijn energieleverend en andere energievragend. Echter op wijkniveau, waar deze haalbaarheidsstudie voor opgezet is, is het mogelijk om een hoge dichtheid aan bouwblokken te realiseren waarbij de wijk volledig Nul Op de Meter is.

Bijlage I      Overzicht van Innovatieve  
technologieën

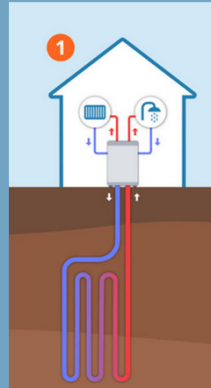
# Quick scan Lincolnpark



## Innovatieve Technologieën

Frans Koene, TNO, 18 maart 2020

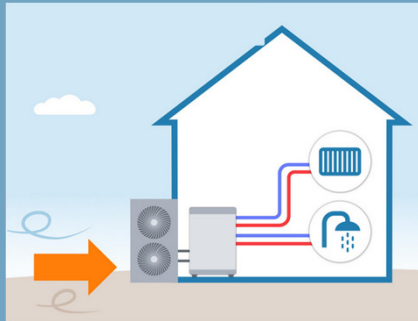
## Warmtepomp met bodembron



Afbeelding: <https://slimster.nl/warmtepomp/warmtepomp-kosten/bodem-water-warmtepomp-prijs/>

omschrijving	Warmtepomp met bodemlus (water-water warmtepomp). Relatief constante en relatief hoge temperatuur van de bron in de winter (5-10°C) waardoor het rendement ca. 10-15% hoger is dan dat van een lucht-water warmtepomp (zie hierna). Recente ontwikkeling: diepe bodemlussen: 300m i.p.v. 120-150m. Voordelen hiervan: hogere brontemperatuur (en daardoor hogere COP van de warmtepomp) en minder onderlinge beïnvloeding van bodemlussen.
prestatie	De prestatie of rendement wordt vaak uitgedrukt als de COP (Coefficient Of Performance). Dit is de geleverde warmte per eenheid gebruikte elektrische energie. De COP voor ruimteverwarming is typisch 4,4, de COP voor warm tapwater bereiding typisch 2.6. Ook geschikt voor energiezuinige koeling door middel van passieve koeling (koel water uit de bodem door de vloerverwarming leiden). Conservatieve schatting COP koeling: 10.
verwachte kosten over 5 jaar	Verwachting: geen grote kostenreductie (in €/kW) in de komende 5 jaar vanwege volwassen technologie. Wel kostenreductie door lagere warmtevraag en daardoor kleinere unit (minder kW). Verdere kostenreductie wellicht in installatiewerk door grootschaliger toepassing.
Links externe partijen	Vele commerciële aanbieders van warmtepompen. Aanbieder van diepe bodemlussen o.a. Duratherm ( <a href="https://www.duratherm.nl/">https://www.duratherm.nl/</a> )
contactpersoon	
opmerkingen	Vuistregel voor minimale onderlinge afstand bodemlussen 6m, afhankelijk van de verhouding van warmteonttrekking (winter) en warmteafgifte (zomerkoeling) aan de bodem. In appartementsgebouw: groeperen van lussen tot 1 ringleiding door gebouw, waar warmtepompen warmte uit kunnen putten.

## Warmtepomp met lucht warmtebron



Afbeelding: <https://slimster.nl/warmtepomp/warmtepomp-kosten/bodem-water-warmtepomp-prijs/>

### omschrijving

Warmtepomp met lucht als warmtebron (lucht-water warmtepomp). Brontemperatuur varieert meer (van  $-20^{\circ}\text{C}$  tot  $+30^{\circ}\text{C}$ ) dan bij een bodemlus, daardoor is de warmtepomp complexer en duurder dan een water-water warmtepomp. Prestatie iets lager dan water-water warmtepomp.

### prestatie

Prestatie ruimteverwarming met vloerverw COP typisch 4, met convectoren COP typisch 3,7, met radiatoren COP typisch 3,4. Aanname: goede installatie.

Prestatie warm tapwaterbereiding COP typisch 2.6 (excl. stilstandsverliezen, zie ook vacuümisolatie hierna). Let op elektraverbruik in standby modus: enkele W bij goede units, tot 20W bij minder goede units.

Ventilator in buitenunit van lucht-water warmtewisselaar kan geluidsoverlast veroorzaken.

Ook geschikt voor (actieve) koeling, maar COP koeling ca. 3, veel lager dan bij water-water warmtepomp.

### verwachte kosten over 5 jaar

Verwachting: geen grote kostenreductie (in €/kW) in de komende 5 jaar vanwege volwassen technologie. Wel kostenreductie door lagere warmtevraag ruimteverwarming en daardoor kleinere unit (minder kW). Verdere kostenreductie wellicht in installatiewerk door grootschaliger toepassing.

### Links externe partijen

Vele commerciële aanbieders van warmtepompen.

### contactpersoon

### opmerkingen

## Warmtepomp met FITS (Façade panel with Invisible Thermal Solar collector)



Afbeelding: <https://www.emergo.nl/producten-en-oplossingen/energiesystemen/fits>

omschrijving

Façade panelen fungeren als warmtebron voor een warmtepomp.

Momenteel in demofase: toegepast bij een sporthal, 1 woning in Almere (sinds nov 2019). Binnenkort toepassing in nog 6 woningen. Kleur panelen vrij te kiezen. Typisch benodigd oppervlak panelen 12 -20 m<sup>2</sup> voor 1 woning, afhankelijk van warmtevraag.

prestatie

Vergelijkbaar met warmtepomp met bodemlus, stil systeem, dus geen geluidsoverlast (zoals bij lucht-water warmtepompen). Momenteel wordt onderzocht of dit systeem ook geschikt is voor koeling.

verwachte kosten over 5 jaar

Vergelijkbaar met warmtepomp met bodemlus (typische kosten voor 1-gezinswoning €7500 incl. installatie + €7500 voor FITS-panelen)

Links externe partijen

<https://www.emergo.nl/producten-en-oplossingen/energiesystemen/fits>

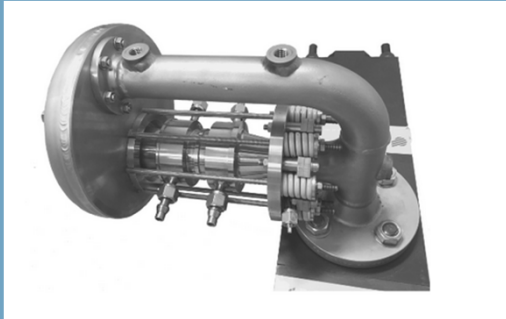
Bedrijf voor levering turn key systeem (warmtepomp + installatie + panelen etc.) is in oprichting.

contactpersoon

Bart Erich, [bart.erich@tno.nl](mailto:bart.erich@tno.nl)

opmerkingen

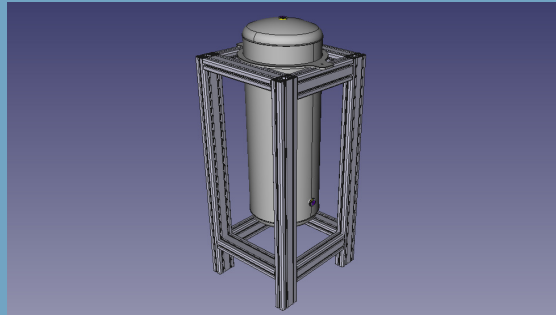
## Thermo-acoustische warmtepomp



Afbeelding: <https://blueheartenergy.com/projects/>

omschrijving	Warmtepomp werkend met thermo-acoustische warmteoverdracht. Geen koelvloeistof nodig.
prestatie	Verwachte prestatie vergelijkbaar met conventionele warmtepompen bij afgiftetemperaturen tot 50°C.  Echter, bij hogere afgiftetemperaturen (tot 80°C) blijft de thermo-acoustische warmtepomp functioneren (met COP ~2) terwijl conventionele warmtepompen dan op elektrische verwarming overschakelen (COP=1)
verwachte kosten over 5 jaar	Vergelijkbaar met conventionele warmtepompen
Links externe partijen	Blue Hart, <a href="https://blueheartenergy.com/">https://blueheartenergy.com/</a>
contactpersoon	Michiel Hartman
opmerkingen	Huidige status: advanced prototype, over 2 jaar marktintroductie

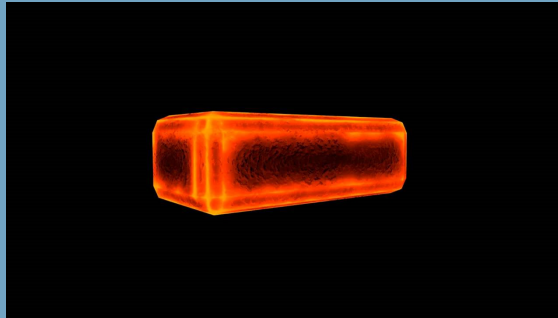
## Warmtebatterij 1: water met vacuüm isolatie



omschrijving	Een warmtepomp heeft vaak een thermisch vermogen dat een factor 4-6 kleiner is dan dat van een ketel. Voor de warm tapwatervoorziening is daarom een boiler vat nodig. Stilstandsverliezen van het opslagvat zorgen echter voor aanzienlijke warmteverliezen. Een nieuw sterk verbeterde warmwater opslag met vacuümisolatie verlaagt de stilstandsverliezen met een factor 4 of meer.
prestatie	Warmteverliezen typisch 12W, factor 4-5 beter dan bij conventionele boiler vaten, kost minder ruimte dus grotere netto inhoud
verwachte kosten over 5 jaar	€500-€4000 afhankelijk van toepassing en schaalgrootte en afname
Links externe partijen	TNO is bezig met het opzetten van een bedrijf, verwachte productiecapaciteit over 1 jaar enkele honderden per maand
contactpersoon	pavol.bodis@tno.nl
opm.	Warmtebuffering zal de <u>energievraag</u> van een gebouw niet verlagen. Wel kan door de buffering het moment van warmtelevering worden verschoven, wat eventueel een hoger opwekrendement of lagere kosten van levering biedt (bijvoorbeeld bij energieprijzen die afhangen van het uur van de dag of bij afwezigheid van de salderingsregeling)



## Warmtebatterij 2: metaal op hoge temperatuur



Afbeelding: <https://www.youtube.com/watch?v=xkyrerx2BBU>

omschrijving	Warmteopslag op hoge temperatuur in metaal, wordt elektrisch verwarmd en de opgeslagen warmte kan gecontroleerd worden vrijgelaten. Tijdens de opslag zijn warmteverliezen laag, zodat warmte gedurende langere tijd (2 weken) kan worden opgeslagen. Status: proof of concept, pilot mogelijk binnen 5 jaar
prestatie	-
verwachte kosten over 5 jaar	-
Links externe partijen	-
contactpersoon	ruud.cuyppers@tno.nl
opmerkingen	<ol style="list-style-type: none"><li>1. TNO doet ook onderzoek aan andere typen warmteopslag, zoals Thermochemische opslag en Redox heat opslag. Echter, het is onzeker of over 5 jaar hiervan marktrijpe producten beschikbaar zijn.</li><li>2. Warmtebuffering zal de <u>energievraag</u> van een gebouw niet verlagen. Wel kan door de buffering het moment van warmtelevering door bv een warmtepomp worden verschoven, wat eventueel een hoger opwekrendement of lagere kosten van levering biedt (bijvoorbeeld bij energieprijzen die afhangen van het uur van de dag of bij afwezigheid van de salderingsregeling)</li></ol>

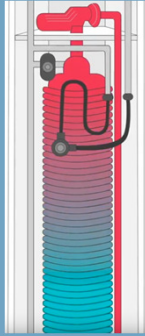
## Weerstandverwarming met warmteopslag



Afbeelding: <https://www.dimplex.co.uk/product/xle-slimline-storage-heater>

omschrijving	Elektrische heater met warmteopslag in blokken materiaal met hoge warmtecapaciteit. Warmteopslag als elektriciteitsstarieven laag zijn.
prestatie	Elektrische heaters alleen toepassen als de warmtevraag voor ruimteverwarming zeer klein is, zodat de lagere investering opweegt tegen een hogere energierekening dan bij toepassing van bijvoorbeeld een warmtepomp.
verwachte kosten over 5 jaar	Commercieel product, geen prijsdaling verwacht.
Links externe partijen	<a href="https://www.dimplex.co.uk/storage-heaters">https://www.dimplex.co.uk/storage-heaters</a>
contactpersoon	Support desk, <a href="https://www.dimplex.co.uk/contact-us-form">https://www.dimplex.co.uk/contact-us-form</a>
opmerkingen	Warmtebuffering zal de <u>energievraag</u> van een gebouw niet verlagen. Wel kan door de buffering het moment van elektriciteitsvraag worden verschoven, wat tot lagere energiekosten leidt als de elektriciteitsstarieven afhangen van het uur van de dag of bij afwezigheid van de salderingsregeling (PV-stroom gebruiken voor opwarming heater i.p.v. levering aan net).

## MEED douche (Renodouche)



Afbeelding: <https://www.meed-solutions.com/producten>

omschrijving

Geïntegreerde unit van warmtewisselaar douchewater met elektrische naverwarming

prestatie

Met een vermogen van 6 kW kan een waterstroom van 9,3 l/min worden verwarmd (CW3 klasse).  
De COP (de geleverde warmte per eenheid elektriciteit) is dan  $(9,3/60) \text{ kg/s} \times (40-10) \text{ K} \cdot 4200 \text{ J/kgK} / 6000 \text{ W} = 3,3$

verwachte kosten over 5 jaar

Staffelprijs €3200 - €2500 euro bij 50-1000 stuks incl. douchebak en douchewand. Naast compleet systeem is er ook een frame variant met 40l boiler in ontwikkeling, prijs zal min of meer hetzelfde zijn.

Links externe partijen

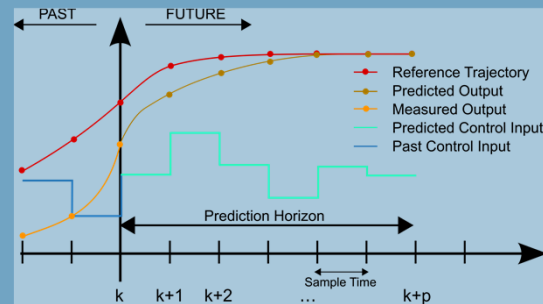
<https://www.meed-solutions.com/>

contactpersoon

Sikko Luinge

opmerkingen

## Slimme regeling van verwarming, koeling, zonwering



Afbeelding: <https://math.stackexchange.com/questions/3052921>

### omschrijving

Een slimme regeling kan een aantal zaken verzorgen:

- Beter controleren van zonwering (elektrisch bediende) zonwering. In de zomer de zonwering omlaag om oververhitting te voorkomen en eventuele koeling te minimaliseren, in de winter de zonwering omhoog om de zonnewarmte te benutten voor verwarming. Leidt tot energiebesparing en beter comfort voor de bewoner.
- Een zo hoog mogelijk financieel rendement van door PV panelen opgewekte elektriciteit. Dat levert weliswaar geen energiebesparing op, maar wel een lagere elektriciteitsrekening. De reden is dat door het versoberen van de salderingsregeling de prijs voor de teruggeleverde elektriciteit 3-4 keer zo laag wordt als de uit het net opgenomen elektriciteit. Benutten van PV-energie is dus financieel gunstiger dan aan het net leveren. Dit kan bijvoorbeeld door de PV-energie te gebruiken voor (eerder of meer) opwarmen van een opslagvat of het gebouw.
- Inzet van de warmtepomp bij zo gunstig mogelijke buitencondities. Bij een lucht-water warmtepomp is de COP lager naarmate de buitenlucht kouder is. Een slimme regeling kan bijvoorbeeld het opwarmen van het opslagvat zoveel mogelijk doen bij hogere buitentemperaturen. Ook kan de slimme regeling warmtevraagpieken (met een lage COP van de warmtepomp) zoveel mogelijk vermijden, rekening houdend met weersvoorspelling en gebruikerswensen.

Een dergelijke modelgebaseerde regeling wordt momenteel in diverse pilotprojecten van TNO toegepast.

### prestatie

Verwachte besparing 10-20% op warmte- en koelvraag

### verwachte kosten over 5 jaar

Eenmalige kosten (voor hardware zoals gateway) typisch € 400, abonnement afhankelijk van opties €1,25 - €4 euro per maand

### Links externe partijen

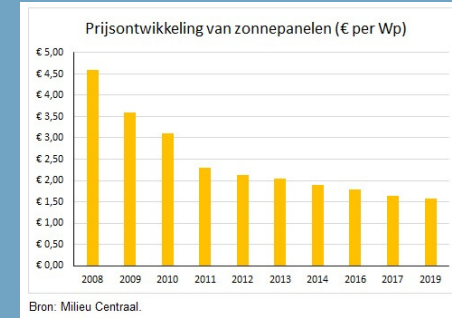
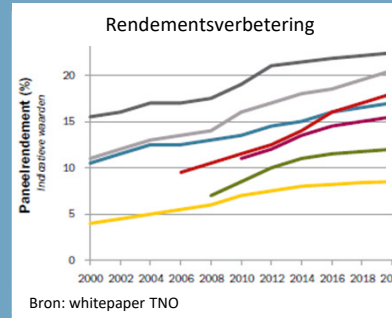
<https://www.benext.eu/>

### contactpersoon

Edwin van Kessel (BeNext)

### opmerkingen

## Gebouw geïntegreerd PV (BI-PV)



omschrijving

PV (PhotoVoltaic) panelen of zonnepanelen produceren elektriciteit uit zonlicht. Niet te verwarren met zonnecollectoren die warm water maken. Er zijn vele soorten PV-panelen: Silicium panelen, amorphe panelen, tweezijdige panelen (ook wel tandems genoemd), dunne film panelen en speciale panelen zoals Perovskieten. Silicium panelen hebben momenteel een marktaandeel van ca. 95%.

Zwart gekleurde panelen leveren de meeste elektriciteit per m<sup>2</sup>. Om esthetische redenen kan ook voor gekleurde panelen worden gekozen, bijvoorbeeld voor toepassing op gevels (zie foto hierboven). Opbrengst is wel lager.

prestatie

Opbrengst van de beste huidige commerciële panelen is 188 kWh/m<sup>2</sup> per jaar (355 Wp voor een paneel van 1,7 m<sup>2</sup>). Rendement van PV-panelen verbetert 1-2% per jaar (zie grafiek uit TNO whitepaper).

Gekleurde panelen hebben een 5-20% lagere opbrengst dan zwarte panelen, afhankelijk van de printkleur.

verwachte kosten over 5 jaar

Kostendaling PV-panelen vooral door grotere productievolumes, typisch 3-4% per jaar (zie grafiek Milieu Centraal).

Links externe partijen

Conventionele panelen: vele commerciële aanbieders.  
Gekleurde panelen: Solar Visuals (<https://www.solarvisuals.nl/>)

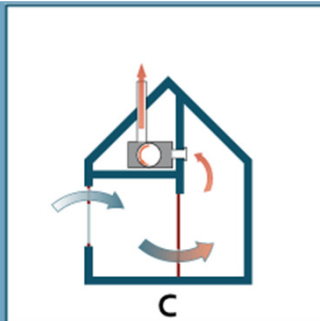
contactpersoon

Wouter van Strien, Ceo Solar Visuals ([wouter@solarvisuals.nl](mailto:wouter@solarvisuals.nl))

opmerkingen

Zie o.m. whitepaper TNO Zonpositief: Zonne-energie Op weg naar impact door W. Sinke

## Ventilatiesysteem



Afbeelding: <https://www.energids.be/nl/vraag-antwoord/welke-ventilatiesystemen-zijn-er/746/>

### omschrijving

Er is te weinig aandacht voor een goede uitvoering van ventilatiesystemen in woningen. Kanalen zijn vaak te smal, bevatten teveel bochten en flexibele aansluitingen en dempers worden gebruikt waar dat niet nodig of ongewenst is. Brede kanalen (D 172 mm i.p.v. D 125 mm) met zo min mogelijk bochten zorgen voor een laag drukverlies (minder ventilatorenergie) en minder geluidsoverlast. Een goede uitvoering van het kanalenstelsel voorkomt het risico dat bewoners het ventilatiesysteem uitzetten.

Verder kanalen goed afdichten om lek te voorkomen, zodat de ventilatielucht alle vertrekken bereikt. Bij warmteterugwinning wordt opgewarmde lucht ook naar de slaapkamers gebracht, terwijl bewoners daar vaak een lagere temperatuur prefereren. Denk aan zonerings van de ventilatie (alleen ventileren van vertrekken waar dat nodig of gewenst is). Let op voldoende overstroomvoorzieningen, bij voorkeur boven de deur. In de praktijk zijn overstroomvoorzieningen vaak onder de deur aangebracht, die (deels) worden afgesloten als er vloerbedekking wordt gelegd. Streven is 1 Pa drukverschil over de deur.

Verder is een goede kookafzuiging belangrijk om fijnstof door koken (bijvoorbeeld bij wokken) zo goed mogelijk af te zuigen.

### prestatie

Bij een goed uitgevoerd ventilatiesysteem kan het vermogen van de ventilatoren worden beperkt tot 30W (bij slechte uitvoering is 200W is geen uitzondering in de praktijk)

Voor kookafzuiging beveelt TNO een debiet van 300 m<sup>3</sup>/uur aan.

### verwachte kosten over 5 jaar

Bij goede voorbereiding en uitvoering nauwelijks extra kosten

### Links externe partijen

### contactpersoon

Wouter Bosboom (TNO), [wouter.borsboom@tno.nl](mailto:wouter.borsboom@tno.nl)

### opmerkingen

