50964306-TOS/NET 10-4026

Impact van warmtepompen op het elektriciteitsnetwerk

Arnhem, 7 juni 2010

Auteurs J.J.A. van der Burgt, J.J. de Wolff

In opdracht van Alliander

auteur	: J.J.A. van der Burgt		10-06-07	beoordeeld	: P.D.M. de Boer		10-06-07
B	48 blz.	1 bijl.	GvW	goedgekeurd	: T.J. Bosma		10-06-14

KEMA Nederland B.V. Utrechtseweg 310, 6812 AR Arnhem Postbus 9035, 6800 ET Arnhem
T (026) 3 56 91 11 F (026) 3 89 24 77 contact@kema.com www.kema.com Handelsregister Arnhem 09080262

© KEMA Nederland B.V., Arnhem, Nederland. Alle rechten voorbehouden.

Dit document bevat vertrouwelijke informatie. Overdracht van de informatie aan derden zonder schriftelijke toestemming van KEMA Nederland B.V. is verboden. Hetzelfde geldt voor het kopiëren (elektronische kopieën inbegrepen) van het document of een gedeelte daarvan.

Het is verboden om dit document op enige manier te wijzigen, het opsplitsen in delen daarbij inbegrepen. In geval van afwijkingen tussen een elektronische versie (bijv. een PDF bestand) en de originele door KEMA verstrekte papieren versie, prevaleert laatstgenoemde.

KEMA Nederland B.V. en/of de met haar gelieerde maatschappijen zijn niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, bijkomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

INHOUD

blz.

1 Inleiding 7
1.1 Context 7
1.2 CV-ketel en warmtepomp 8
1.3 Aanpak 9

2 Ontwerp en kosten van het elektriciteitsnet 10
2.1 Basisontwerp 10
2.2 Definitief ontwerp rekening houdend met warmtepompen 11
2.3 Kostenvergelijking tussen basis- en definitief ontwerp 17
2.4 Discussie netwerkinvestering 21
2.5 Conclusie netwerkinvestering 24

3 Analyse van de capaciteit van het elektriciteitsnet 25

4 Investerings- en exploitatiekosten van warmtepompen 27
4.1 Inleiding 27
4.2 Complicerende factoren in de vergelijking 29
4.3 Vergelijking investeringskosten 30
4.3.1 Effect subsidieregelingen 31
4.4 Vergelijking exploitatiekosten 32
4.5 Exploitatiekosten, WP-lobby variant 34
4.6 Exploitatiekosten, gaslobby-variant 36
4.7 Analyse van de cijfers uit de enquête uitgevoerd door Millward Brown 38

5 Conclusie 45

Bijlage A Gegevens van de geplaatste warmtepompen 48

LIJST VAN AFKORTINGEN

COP	coefficient of performance
CV	centrale verwarming
EPC	energie-prestatie-coëfficiënt
g	gelijktijdigheid
g_WP	gelijktijdigheid van een warmtepomp
HR-CV	hoogrendement centrale verwarming
HS	hoogspanning
LS	laagspanning
LT	lage temperatuur
MS	middenspanning
MSR	middenspanningsruimte
RV	ruimteverwarming
SPF	seasonal performance factor
WKK	warmtekrachtkoppeling
WKO	warmte/koudeopslagsysteem
WP	warmtepomp

SAMENVATTING

In Nederlandse woonwijken worden steeds vaker elektrische warmtepompen toegepast wegens de realiseerbare energiebesparing. Dit resulteert in een zwaardere belasting voor de elektriciteitsdistributienetten. Omdat Alliander als netbeheerder moet zorgen dat deze netten voldoende zwaar zijn uitgelegd, is het van belang een goed inzicht te hebben in het elektriciteitsverbruik van de warmtepompen en de impact hiervan op deze netten.

Alliander heeft daarom aan KEMA gevraagd om ter ondersteuning van eigen onderzoek een tweetal praktijksituaties te analyseren: de nieuwbouwwijken De Teuge in Zutphen en Aqua Vicus in Alphen aan den Rijn. Onderzoeksonderwerpen hierbij zijn: een vergelijking van de technische dimensionering en investeringskosten van het laagspanningselektriciteitsnet in de situatie zonder en met warmtepompen (inclusief mogelijke elektrische bijverwarming), een analyse van de benodigde capaciteit van het elektriciteitsnet aan de hand van meetgegevens uit de praktijk en de investerings- en exploitatiekosten van de warmtepomp in vergelijking tot de HR-CV-ketel.

Uit de netanalyse blijkt dat de komst van warmtepompen in een woonwijk een forse toename van de verwachte maximale vermogensvraag t.o.v. de basissituatie betekent, wat op zijn beurt leidt tot een toename in de netinvesteringskosten. De toename van het maximale vermogen is een factor 5 tot 6 als de elektrische bijverwarming van de warmtepompen wordt meegenomen. De vermogenstoename is een factor 2 tot 3 als de elektrische bijverwarming van de warmtepompen *niet* wordt meegenomen.

De meerkosten ten gevolge van deze vermogenstoename zijn niet evenredig daarmee, omdat het basisnetontwerp een zekere overdimensionering in zich heeft. Dit kan per praktijksituatie verschillen, zoals ook blijkt uit de twee geanalyseerde gevallen. De meerkosten in Alphen blijken 30% tot 80% van de oorspronkelijke netwerkkosten te zijn (zonder c.q. met elektrische bijverwarming). In Zutphen blijkt een verdubbeling tot bijna een verdrievoudiging van de netwerkkosten op te treden (zonder c.q. met elektrische bijverwarming).

Het verschil in meerkosten tussen deze twee nieuwbouwwijken wordt veroorzaakt door een verschil in de ontwerpregels: Voor Alphen is een gelijktijdigheidberekening gemaakt volgens de toen geldende standaardregels (2005), waarin de warmtepomp als ieder ander apparaat in huis werd meegenomen. Dit leverde een gelijktijdigheid van 0,3 op en hierdoor was het niet nodig om de laagspanningskabels te verzwaren. In de netberekeningen voor Zutphen is volgens de nieuwe rekenregels (2007) rekening gehouden met het piekvermogen van de warmtepompen, inclusief elektrische bijverwarming, met een gelijktijdigheid gelijk aan 1.

Hieruit bleek dat de laagspanningskabels flink uitgebreid moesten worden, resulterend in hogere investeringskosten. Als de berekening voor Alphen wordt overgedaan met een gelijktijdigheid van 1, zal dit waarschijnlijk leiden tot een ontwerp met dikkere en/of langere kabels en dus hogere investeringskosten.

De analyse van de meetresultaten in Aqua Vicus (Alphen) laat zien dat in de afgelopen drie winters (2006-2009) vooralsnog geen kabels overbelast zijn geraakt. Echter, het valt te verwachten dat bij extreme koude, als vrijwel alle warmtepompen met hun bijverwarming aan staan, enkele van de kabels in Aqua Vicus overbelast zullen raken.

Door de inpassing van elektrische warmtepompen kan ook de capaciteit van het middenspanningsnet eerder dan verwacht worden overschreden, waardoor extra voorzieningen benodigd zijn, die extra kosten met zich meebrengen. Dit geval deed zich voor in Zutphen ten behoeve van De Teuge, waar een nieuwe middenspanningsaansluiting op een onderstation gerealiseerd moest worden met een investering van ruim een half miljoen euro.

De kostenvergelijking tussen de warmtepomp en de HR-CV-ketel laat zien dat de investeringskosten voor een complete warmtepompinstallatie op dit moment zeker het dubbele van de kosten voor een CV-gasinstallatie zijn. Met subsidies van rijks- en lokale overheden kan dit verschil worden weggenomen, zeker wanneer de koudelevering en EPC-maatregelen in de vergelijking worden meegenomen. De exploitatiekosten van een warmtepomp en een CV-ketel liggen ongeveer in dezelfde orde van grootte (EUR 1.000,-- per jaar), onder voorwaarde van een goede installatie.

De vergelijking van de investerings- en exploitatiekosten van een warmtepompinstallatie met die van een CV-ketel kan met verschillende (op zich redelijke) aannames compleet naar een van beide kanten getrokken worden. Met een goed functionerende warmtepomp en het betrekken van comfortkoeling in de vergelijking komt de warmtepomp als heel aantrekkelijk uit de bus. Zonder waardering van koude en onder aanname van een minder goed functionerende warmtepomp scoort de HR-CV-ketel juist beduidend beter.

De meterstanden en bevindingen uit de door Millward Brown uitgevoerde bewonersenquête laten zien dat veel warmtepompinstallaties niet optimaal functioneren en helaas de beloftes van energie- en kostenbesparing niet kunnen waarmaken: de exploitatiekosten zijn gemiddeld EUR 1.300,-- per jaar met daarbij nog een extra kostenpost van gemiddeld EUR 600,-- per jaar voor het collectieve bronsysteem. Dit verklaart waarom sommige mensen ontevreden zijn met hun warmtepomp en/of veel hogere kosten hebben dan verwacht.

1 INLEIDING

1.1 Context

In Nederland worden vooral in nieuwe, maar ook in bestaande woningen steeds vaker elektrische warmtepompen (WP's) toegepast. De toepassing van deze warmtepompen als warmtevoorziening in de woningen heeft een positief effect op de energieprestatiecoëfficient (EPC) van de woning. Warmtepompen maken het mogelijk om het primaire energieverbruik te reduceren. Vanuit de wens tot energie-efficiency en –besparing wordt de aanschaf van warmtepompsystemen daarom veelal gesubsidieerd.

Een woonwijk met veel warmtepompen belast het elektriciteitsnet zwaarder dan een vergelijkbare wijk met conventionele gasgestookte centraleverwarmingsinstallaties (CV's). Met name de piekvraag voor de elektrische bijverwarming kan een significante belasting voor het elektriciteitsnetwerk met zich meebrengen vanwege de hoge gelijktijdigheidfactor.

Alliander moet als netbeheerder zorgen dat de elektriciteitsnetwerken in deze woonwijken voldoende zwaar zijn uitgelegd. Hiervoor is het van belang meer inzicht te hebben in het elektriciteitsverbruik van de warmtepompen en de impact van de warmtepompen op die netwerken.

Alliander voert daarom momenteel een project uit, waarin de inzet van warmtepompen nader wordt bestudeerd. Hierbij wordt enerzijds gekeken naar de argumenten waarom voor een warmtepomp wordt gekozen (milieuvoordelen, kosten) en anderzijds naar het elektriciteits-gebruik van warmtepompen in de praktijk en de impact van deze warmtepompen op het elektriciteitsnetwerk.

Alliander heeft aan KEMA gevraagd om ter ondersteuning van dit onderzoek een tweetal case studies te analyseren: de nieuwbouwwijken De Teuge in Zutphen en Aqua Vicus in Alphen aan den Rijn en deze netwerken te vergelijken met het ontwerp van een conventionele woonwijk zonder WP's. Onderzoeksonderwerpen hierbij zijn: de technische dimensionering en investeringskosten van het elektriciteitsnet volgens het ontwerp van Alliander (zie hiervoor hoofdstuk 2), de investerings- en exploitatiekosten van de warmte-pomp in vergelijking met de HR-CV-ketel (hoofdstuk 3) en een analyse van de capaciteit van het elektriciteitsnet aan de hand van meetgegevens uit de praktijk (zie hoofdstuk 4).

1.2 CV-ketel en warmtepomp

Standaard worden in 'Nederland Gasland' woningen voorzien van warmte door middel van een gasaansluiting en een individuele HR-CV-ketel. De gasketel levert veilig en comfortabel warmte voor zowel ruimteverwarming als voor warmtapwaterbereiding en bovendien kan er in de woning op gas worden gekookt. De comfortabele 'centrale verwarming' heeft de kolen-, olie- of gasgestookte kachels uit de jaren 60 definitief uit de woonkamers verdrongen. Slechts uit sfeeroverwegingen wordt incidenteel aanvullend hout in de open haard verstookt. Collectieve warmtevoorziening (of 'Stadsverwarming') heeft door de toepassing in kwalitatief matige woningbouw, zoals de jaren-70 galerijflats, en de onduidelijke tariefstelling (de zgn. NMDA of 'Niet-Meer-Dan-Anders'-tarieven) - mogelijk onverdiend - een slechte naam gekregen. De HR-CV kan dan ook worden beschouwd als dé referentie voor de warmte-voorziening in Nederlandse woningen.

Met de meer recente trend naar energiebesparing en –verduurzaming wordt steeds meer gekeken naar alternatieven voor de HR-CV. De aanscherping van de landelijke EPC-eisen (Energie Prestatie Coëfficiënt) voor nieuwbouwwoningen maakt dat er in combinatie met een traditionele HR-CV-ketel meer aanpassingen aan de woning zelf moet worden gepleegd om aan de eisen te voldoen dan bij toepassing van alternatieve, deels duurzame warmte-bronnen. Naast de wens tot 'vergroening' komt de motivatie voor een alternatief verwarmingsysteem ook voort uit de vermeende verminderde rentabiliteit van de aanleg van een dubbele energie-infrastructuur (zowel elektriciteit als gas) bij een afnemende warmtevraag in de woningen. Bij dit laatste moet echter ook rekening worden gehouden met de noodzakelijke verzwaring van het elektriciteitsnet in geval van elektrisch gevoede warmtebronnen.

Er zijn verschillende alternatieven voor de individuele HR-CV mogelijk. Uit het stimuleren van het gebruik van WKK en restwarmte door de overheid komt een hernieuwde belangstelling voort voor collectieve warmtedistributiesystemen. De hoge investeringskosten voor het transport- en distributienetwerk vormen geregeld een drempel voor realisatie. De elektrische combiwarmtepomp is eveneens een optie als alternatief voor een HR-CV. Met een warmtepomp kan het temperatuursniveau van een laagwaardige warmtestroom zoals buitenlucht of grondwater worden verhoogd ('opgepompt'), zodat deze warmte alsnog nuttig kan worden aangewend. Dit is enigszins vergelijkbaar met een koelkast, die warmte aan het koude interieur van de kast onttrekt en loost in de warmere omgeving van de kamer. Een warmtepomp maakt het mogelijk om de warmtevraag geheel op duurzame wijze in te vullen, door naast de bronwarmte ook groene stroom te gebruiken voor de energievoorziening van de warmtepomp. Net als warmtedistributie vraagt ook de warmtepomp een hogere investering. Dit rapport bevat een raming van de investerings- en exploitatiekosten van zowel

de warmtepomp als de HR-CV ketel. Deze vergelijking beperkt zich niet tot in de meterkast, zoals geregeld gepresenteerd, maar betrekt ook de benodigde aanpassingen in het lokale distributienetwerk die nodig zijn om de verhoogde elektriciteitsvraag met een relatief hoge gelijktijdigheid te kunnen verwerken. Zie hoofdstuk 2 voor deze financiële analyse.

1.3 Aanpak

Voor twee nieuwbouwwijken waar WP's zijn toegepast heeft KEMA het gebruikte netontwerp geanalyseerd. Dit zijn de wijken De Teuge in Zutphen en Aqua Vicus in Alphen aan den Rijn. Van deze netwerken zijn de ontwerpparameters vergeleken met die van een conventionele wijk zonder WP's. Vervolgens zijn hiervan de investeringskosten in kaart gebracht (hoofdstuk 2).

Op basis van beschikbare meetdata van Alliander en de enquêtes uitgevoerd door Millward Brown is een analyse uitgevoerd om te kijken of het huidige elektriciteitsnetwerk en dus het gebruikte ontwerp voldoende zal zijn voor gebruik van de WP's in de nabije toekomst. Hoofdstuk 4 geeft hier de resultaten van weer.

2 ONTWERP EN KOSTEN VAN HET ELEKTRICITEITSNET

Op basis van informatie verkregen van medewerkers van Liander wordt in dit hoofdstuk het elektriciteitsnet in de bestudeerde nieuwbouwwijken beschreven. Het gaat om het basisontwerp zonder WP's en het ontwerp waarbij rekening is gehouden met WP's. De dimensionering van het net (trafovermogen, lengte en diameter van kabels, inclusief kosten) volgt uit de berekeningen van Liander, uitgevoerd met het programma GAIA.

2.1 Basisontwerp

Het in dit hoofdstuk beschreven "basisontwerp" is het standaard ontwerp zoals dat door GAIA wordt berekend voor nieuwbouwwijken. Hierbij wordt dus niet specifiek rekening gehouden met de aanwezigheid van WP's. Het basisontwerp van een wijknet gaat uit van het 'Standaard Nuon'-huis met een specifiek belastingsprofiel met een maximum van ongeveer 1 kVA per huis op trafoniveau. Hieruit volgen de parameters van tabel 1. De totale LS-kabellengte is afhankelijk van het wijkontwerp en is uitkomst van berekeningen van Liander m.b.v. GAIA. De MS-kabellengte hangt af van de afstand tot het bestaande MS-ringnet en daarin aanwezige MS-ruimtes (eveneens afkomstig van Liander).

Tabel 1 Kentallen van het basisnetontwerp volgens GAIA in twee nieuwbouwwijken

wijk	**De Teuge, Zutphen**	**Aqua Vicus, Alphen a/d Rijn**
aantal woningen	184	104
basis-E-verbruik per woning op trafoniveau (incl. gelijktijdigheid)	ca. 1 kVA†	ca. 1 kVA†
toeslag elektrisch koken	20%	20%
totaal E-verbruik per woning op trafoniveau (incl. gelijktijdigheid)	ca. 1,2 kVA	ca. 1,2 kVA
groeipercentage E-verbruik per jaar	0,75%	0,75%
groeifactor E-verbruik na 40 jaar	$(1.0075)^{40}$ = 1,35	1,35
totaal E-verbruik per woning op trafoniveau (incl. gelijktijdigheid) *na 40 jaar*	ca. 1,6 kVA	ca. 1,6 kVA
benodigd transformatorvermogen	**300 kVA**	**170 kVA**
beschikbare transformator uit standaardreeks*	400 kVA	geen# c.q. 250 kVA
gekozen transformator	400 kVA	geen# c.q. 400 kVA
lengte LS-kabel (volgens wijkontwerp)	150 mm^2 ca. 250 m 95 mm^2 ca. 450 m	150 mm^2 ca. 1350 m 50 mm^2 ca. 220 m (1)
lengte MS-kabel	150 m	geen# c.q. ca. 480 m

† Het exacte basis-E-verbruik per woning op trafoniveau hangt af van het aantal huizen per trafo en per kabelstreng.

* Standaardreeks distributietrafo [kVA]: 250, 400, 630, 1000, 1600, 2000, 2500.

\# Het gevraagde vermogen zou waarschijnlijk passen in de bestaande nabije MS-ruimte 'Samsom'.

(1) Indien geen nieuwe trafo wordt geplaatst, zijn er meer meters LS-kabel nodig vanuit een bestaande nabije MS-ruimte. In dat geval worden slechts 2 strengen toegepast.

In bovenstaand overzicht worden drie verschillende kabeldiameters genoemd. In het algemeen worden LS-kabels van 4x150 mm^2 Alu gebruikt. Voor stukken waar het kan (takken met weinig huizen) worden 4x95 mm^2 Alu en 4x50 mm^2 Alu gebruikt. In het basisontwerp worden ca. 40 huizen per kabelstreng aangesloten (mede afhankelijk van de wijkindeling). Een LS-kabel van 4x150 mm^2 Alu heeft een capaciteit van ca. 150 kVA.

Voor de aansluiting op het MS-net moeten vaak ook extra voorzieningen worden opgenomen. Als aansluiting op een bestaande MS-transformator niet mogelijk is, zal een nieuwe MS-ruimte in de woonwijk geplaatst worden met een aansluiting op het 10kV-MS-net (inclusief MS-kabel voor verbinding met twee nabij gelegen MS-ruimtes).

2.2 Definitief ontwerp rekening houdend met warmtepompen

In het definitieve ontwerp van de twee bestudeerde wijken is rekening gehouden met de gegevens van de warmtepompen die aangeleverd zijn door de betreffende project-ontwikkelaars aan Alliander. De gegevens van dit definitieve ontwerp zijn door Alliander aan KEMA beschikbaar gesteld. De relevante WP-gegevens staan in Bijlage A. Hieruit volgen de parameters van tabel 2.

Bij de dimensionering van beide wijknetten is door Alliander een belangrijk verschil gemaakt in de berekening van de gelijktijdigheid van de warmtepompen. Het ontwerp van Aqua Vicus dateert uit 2005. Volgens de destijds geldende richtlijnen werd een standaardberekening gebruikt, die uitkwam op een gelijktijdigheid van 0,33 voor de WP's. In een beleidsstuk uit 2007[1] is de richtlijn aangepast, waarna voor WP's een gelijktijdigheidfactor van 1 is gehanteerd. Deze waarde is dan ook gebruikt in het ontwerp van De Teuge uit 2007. In hetzelfde beleidsstuk volgt uit een statistische analyse dat gemiddeld 1 dag per jaar de WP's

[1] Warmtepompen – Hoe ontwerp ik het net?, Versie 1.0, Continuon Assetmanagement, Planning en Analyse, Zomer 2007, Auteurs: Raymond Geurts van Kessel en Eric van Loon

met 100% bijverwarming zullen draaien. Dit betekent dat dit een situatie is waarmee zeker rekening gehouden moet worden in het netontwerp.

De ontwerpen voor deze twee nieuwbouwwijken zijn dus niet gebaseerd op dezelfde uitgangspunten. Tabel 2 geeft de gebruikte kentallen weer waarop de berekeningen met GAIA zijn gebaseerd. Ook de belangrijkste kentallen die door GAIA zijn berekend zijn in deze tabel weergegeven. Hierbij gaat het om de ontwerpen zoals die door Alliander zijn gemaakt op basis van de beschikbare informatie over de warmtepompen op dat moment. Merk op dat men ten tijde van het ontwerp van De Teuge er vanuit ging dat er in elk huis hetzelfde type WP (Stiebel-Eltron) geïnstalleerd zou worden (op basis van de toen aan Alliander geleverde informatie).

Tabel 2 Kentallen van het definitieve netontwerp dat rekening houdt met warmtepompen, berekend door Alliander, in twee nieuwbouwwijken met WP's

wijk	**De Teuge, Zutphen ontwerp 2005**	**Aqua Vicus, Alphen a/d Rijn ontwerp 2007**
aantal woningen	184	104
basis-E-verbruik per woning op trafoniveau (incl. gelijktijdigheid)	ca. 1 kVA	ca. 1 kVA
toeslag elektrisch koken	20%	20%
groeipercentage E-verbruik per jaar	0,75%	0,75%
groeifactor E-verbruik na 40 jaar*	1,35	1,35
totaal basis-E-verbruik per woning op trafoniveau (zonder WP) *na 40 jaar*	ca. 1,6 kVA	ca. 1,6 kVA
piekverbruik WP compressor	2,3 kW (1)	2,1-2,9-3,3 kW (2)
piekverbruik WP compressor met cosφ = 0,9 (gebruikt door GAIA)	2,5 kVA	2,3-3,2-3,7 kVA
piekverbruik bijverwarming	8,8 kW	4 kW
piekverbruik WP incl. bijverwarming	11,3 kVA	6,3-7,2-7,7 kVA
aanname piekverbruik WP, Alliander 2007	8,8 kVA	
Alphen: E-verbruik per WP op trafoniveau, rekening houdend met lage gelijkt.heid (3)		2,1-2,4-2,6 kVA
totaal E-verbruik per woning op trafoniveau Zutphen: gelijktijdigheid_WP = 1, na 40 jaar	10,4 kVA	
totaal E-verbruik per woning op trafoniveau Alphen: gelijktijdigheid_WP = 0,3, na 40 jaar		3,7-4,0-4,2 kVA
benodigd transformatorvermogen bij maximaal WP-vermogen incl. bijverwarming	**1978 kVA** (g_WP = 1)	**407 kVA** (g_WP = 0.33)

wijk	De Teuge, Zutphen ontwerp 2005	Aqua Vicus, Alphen a/d Rijn ontwerp 2007
beschikbare transformator uit standaardreeks	2000 kVA	630 kVA
gekozen transformator	2000 kVA	1000 kVA
lengte LS-kabel	150 mm^2 ca. 2250 m 95 mm^2 ca. 150 m (4)	150 mm^2 ca. 1350 m 50 mm^2 ca. 220 m (5)
lengte MS-kabel	ca. 150 m**	ca. 480 m

* De groeifactor geldt niet voor de WP

(1) In het toenmalige ontwerp van Alliander is uitgegaan van één type WP (Stiebel-Eltron); gegevens zie Bijlage A, Tabel 18.

(2) Merk Vaillant, typen VWS NL 6, 8 en 10; aantallen en gegevens zie Bijlage A, Tabel 19.

(3) Gelijktijdigheid. Voor Alphen is een gelijktijdigheidberekening voor de WP gemaakt met de methode van Rusk volgens de toen geldende richtlijn (2005):

$$g(n) = g(\infty) + \frac{1 - g(\infty)}{\sqrt{n}}$$ met n = aantal huizen en $g(\infty) = 0{,}26$.

Dit levert: g(104) = 0,333.

(4) In de netberekeningen met WP voor Zutphen is rekening gehouden met het piekvermogen voor de WP (met gelijktijdigheid = 1 volgens Geurts van Kessel en Van Loon). Hieruit bleek dat de LS-kabels flink uitgebreid dienden te worden t.o.v. het basisontwerp.

(5) In de netberekeningen met WP voor Alphen is rekening gehouden met een gelijktijdigheidfactor voor de WP gelijk aan 0.33 (zie opm. (3)). Hieruit bleek dat de LS-kabels niet aangepast dienden te worden t.o.v. de situatie zonder WP. Dit heeft ook te maken met de wijkopbouw en de daaruit volgende netlayout, waarin meerdere korte kabels met weinig huisaansluitingen voorkomen.

** In het uiteindelijke netontwerp van De Teuge is een nieuwe MS-kabel van 5000 m aangelegd, omdat de in de buurt liggende MS-kabel niet voldoende vrije capaciteit had. Deze specifieke situatie is hier buiten beschouwing gelaten.

Een vergelijking tussen het ontwerp met WP's (tabel 2) en het basisontwerp (tabel 1) laat zien dat de maximale transformatorbelasting voor De Teuge een factor 6,6 hoger ligt t.g.v. de WP's en voor Aqua Vicus een factor 2,4. Het grote verschil tussen deze twee factoren wordt veroorzaakt door de verschillende aannames voor de gelijktijdigheid van de warmtepompen (g = 1 in De Teuge en g = 0,3 in Aqua Vicus) en (een beetje) door het grotere vermogen van de WP's in De Teuge.

Met de volledige gegevens van de warmtepompen (o.a. meerdere typen in De Teuge) en variaties in de gelijktijdigheid van de WP's heeft KEMA enkele varianten in de netberekeningen van deze twee nieuwbouwwijken uitgevoerd. De resultaten van deze

theoretische beschouwing zijn te vinden in tabel 3. In deze tabel is de WP zowel met als zonder elektrische bijverwarming meegenomen.

Tabel 3 Kentallen van varianten op het netontwerp van twee nieuwbouwwijken met warmtepompen, berekend door KEMA

wijk	**De Teuge, Zutphen**		**Aqua Vicus, Alphen a/d Rijn**
	3 typen WP	**1 type WP #**	
aantal woningen	184		104
basis-E-verbruik per woning op trafoniveau (incl. gelijktijdigheid)	ca. 1 kVA		ca. 1 kVA
toeslag elektrisch koken	20%		20%
groeipercentage E-verbruik per jaar	0,75%		0,75%
groeifactor E-verbruik na 40 jaar*	1,35		1,35
totaal basis-E-verbruik per woning op trafoniveau (zonder WP) *na 40 jaar*	ca. 1,6 kVA		ca. 1,6 kVA
WP zonder bijverwarming, g_WP = 1			
piekverbruik WP compressor	2,1-2,3 kW (1)	2,3 kW	2,1-2,9-3,3 kW (2)
piekverbruik WP compressor met cosφ = 0,9 (gebruikt door GAIA)	2,3-2,5 kVA	2,5 kVA	2,3-3,2-3,7 kVA
totaal E-verbruik per woning op trafoniveau (g_WP = 1), na 40 jaar	3,9-4,1 kVA	4,1 kVA	3,9-4,8-5,3 kVA
benodigd transformatorvermogen bij maximaal WP-compressorvermogen	**720 kVA**	**750 kVA**	**470 kVA**
beschikbare transformator uit standaardreeks	1000 kVA	1000 kVA	630 kVA
WP met bijverwarming, g_WP = 1			
piekverbruik bijverwarming	4-8,8 kW	8,8 kW	4 kW
piekverbruik WP incl. bijverwarming	6,3-11,3 kVA	11,3 kVA	6,3-7,2-7,7 kVA
totaal E-verbruik per woning op trafoniveau (g_WP = 1), na 40 jaar	7,9-12,9 kVA	12,9 kVA	7,9-8,8-9,3 kVA
benodigd transformatorvermogen bij maximaal WP-vermogen incl. bijverwarming	**1710 kVA**	**2460 kVA (##)**	**880 kVA**
beschikbare transformator uit standaardreeks	2000 kVA	2500 kVA	1000 kVA
WP met bijverwarming en lage gelijktijdigheid, g_WP ≈ 0,3 (3)			
E-verbruik per WP op trafoniveau, met gelijktijdigheid_WP ≈ 0,3 (3)	2,0-3,6 kVA	3,6 kVA	2,1-2,4-2,6 kVA
totaal E-verbruik per woning op trafoniveau, WP met bijverwarming, g_WP ≈ 0,3, na 40 jaar	3,6-5,2 kVA	5,2 kVA	3,7-4,0-4,2 kVA
benodigd transformatorvermogen, WP's met bijverwarming, g_WP ≈ 0,3	**720 kVA**	**950 kVA**	**407 kVA**
beschikbare transformator uit standaardreeks	1000 kVA	1000 kVA	630 kVA

wijk	**De Teuge, Zutphen**		**Aqua Vicus, Alphen a/d Rijn**
	3 typen WP	**1 type WP #**	
WP met bijverwarming en gelijktijdigheid_WP = 0,7 (4)			
E-verbruik per WP op trafoniveau, met gelijktijdigheid_WP = 0,7	4,4-7,9 kVA	7,9 kVA	4,4-5,1-5,4 kVA
totaal E-verbruik per woning op trafoniveau, WP met bijverwarming, g_WP = 0,7, na 40 jaar	6,1-9,5 kVA	9,5 kVA	6,1-6,7-7,0 kVA
benodigd transformatorvermogen, WP's met bijverwarming, g_WP = 0,7	**1270 kVA**	**1800 kVA**	**670 kVA**
beschikbare transformator uit standaardreeks	1600 kVA	2000 kVA	1000 kVA
gekozen transformator	2000 kVA		1000 kVA

In deze tabel wordt gerekend met 3 typen WP (zie opm. (1)), zoals uiteindelijk uitgevoerd in de wijk; maar ook met 1 type WP, volgens de oorspronkelijk aan Alliander geleverde informatie (die ook is gebruikt in tabel 2). Dit ene type WP was de grootste van de drie en is uiteindelijk in 40 i.p.v. 184 huizen terechtgekomen. Dit laatste verklaart de grote verschillen tussen de berekeningen met 1 en 3 typen WP.

* De groeifactor geldt niet voor de WP

(1) Merken Inventum, Vaillant en Stiebel-Eltron; aantallen en gegevens zie Bijlage A, Tabel 18.

(2) Merk Vaillant, typen VWS NL 6, 8 en 10; aantallen en gegevens zie Bijlage A, Tabel 19.

(##) In het gerealiseerde netontwerp (in 2007) is Alliander uitgegaan van een pieklast van de WP van 8,8 kVA, zie tabel 2. Dit is in feite alleen de bijverwarming van de warmtepomp, dus zonder compressor. In deze tabel is de werkelijke pieklast van de WP genomen, d.w.z. compressor en bijverwarming. Dit levert een nog hoger trafovermogen dan de toen berekende 2000 kVA.

(3) Gelijktijdigheid. Voor Alphen is een gelijktijdigheidberekening voor de WP gemaakt met de methode van Rusk volgens de toen geldende richtlijn (2005):

$$g(n) = g(\infty) + \frac{1 - g(\infty)}{\sqrt{n}}$$ met n = aantal huizen en $g(\infty) = 0{,}26$.

Dit levert: g(104) = 0,333 (Alphen) en g(184) = 0,315 (Zutphen).

(4) In het gasdistributienet wordt gerekend met een gelijktijdigheid van de piekwarmtevraag van 0,7. Merk hierbij op dat het gasnet een vermaasd net is, waardoor de belasting zich verdeelt in het net. Voor uitlopers in het gasnet wordt gerekend met een gelijktijdigheid van 1.

Zoals uit tabel 3 blijkt, is de maximale transformatorbelasting erg afhankelijk van de aannames voor de warmtepompen, nl. wel of niet meetellen van de bijverwarming en welke waarde van de gelijktijdigheid. Indien de uitgangspunten van het beleidsstuk van Geurts van Kessel en Van Loon[2] wordt aangehouden, d.w.z. WP's inclusief bijverwarming en een gelijktijdigheid gelijk aan 1, volgen uit tabel 3 de volgende waarden:

- met de gegevens ten tijde van het netontwerp van De Teuge (één type WP) heeft Alliander een maximale transformatorbelasting van 1978 kVA berekend (tabel 2), dit is 6,6 keer de maximale belasting zonder WP's. Op deze waarde is de keuze voor een 2000kVA-transformator gebaseerd
- met medeneming van het totale WP-vermogen (compressor plus bijverwarming) wordt de maximale transformatorbelasting in De Teuge uit het vorige punt 2460 kVA (tabel 3), dit is een factor 8,3. Een transformator van 2000 kVA zou hiervoor dus niet voldoende zijn
- met inachtneming van de later bekende gegevens in De Teuge (3 typen WP) wordt de maximale transformatorbelasting in De Teuge 1710 kVA (tabel 3), dit is een factor 5,7[3]
- voor het netontwerp van Aqua Vicus volgt, met een gelijktijdigheid van 1, een maximale transformatorbelasting gelijk aan 880 kVA (tabel 3), dit is 5,3 keer de maximale belasting zonder WP's. Hiervoor is de gekozen transformator van 1000 kVA dus voldoende.

Met medeneming van de bijverwarming en een gelijktijdigheid van 0,7 (overgenomen uit gasnetberekeningen) volgen uit tabel 3 de volgende waarden:

- maximale transformatorbelasting in De Teuge is 1270 kVA (factor 4,3)
  (met de originele aanname van 1 type WP: 1800 kVA, factor 6,1)
- maximale transformatorbelasting in Aqua Vicus is 670 kVA (factor 4,0).

Uit gegevens van warmtepompen en ervaringen van Alliander en andere netbeheerders volgt dat de bijverwarming op verscheidene manieren wordt ingezet. Zoals het voorbeeld van de Stiebel-WP's in De Teuge aangeeft, is de bijverwarming bij sommige typen niet aangesloten op de automatische WP-regeling. In dit geval is het alleen een noodverwarming die per huis handmatig ingeschakeld kan worden als de compressor langdurig in storing is. Bij andere WP's wordt de bijverwarming alleen gebruikt voor extra verwarming van het tapwater (bij grote heetwatervraag of anti-legionellaverhittingscyclus). Ook zijn er WP's die de bijverwarming mee laten werken in de normale regeling, waarbij deze dus vanaf een bepaalde grote warmtevraag gaat meewerken. Een WP kan dus echter zodanig ontworpen

[2] Warmtepompen – Hoe ontwerp ik het net?, Versie 1.0, Continuon Assetmanagement, Planning en Analyse, Zomer 2007, Auteurs: Raymond Geurts van Kessel en Eric van Loon

[3] Uit informatie van Liandon (E-mail Van: Gijs van Heijster, Verzonden: 10 dec. 2009 14:15) blijkt dat de bijverwarming van de Stiebel-WP's niet is ingeschakeld. Hierdoor zakt de maximale transformator-belasting in De Teuge naar 1330 kVA (factor 4,5)

worden dat de bijverwarming niet nodig is voor de ruimteverwarming. Onder deze aanname vallen de cijfers voor het maximale transformatorvermogen (dus zonder bijverwarming tijdens maximale vraag, maar met gelijktijdigheid gelijk aan 1)[4] als volgt uit:

- maximale transformatorbelasting is 720 kVA (factor 2,4) in De Teuge
- maximale transformatorbelasting is 470 kVA (factor 2,8) in Aqua Vicus.

De situatie met gelijktijdigheid van WP's gelijk aan die van de overige woningbelasting (in beide wijken ongeveer 0,3) lijkt niet relevant, omdat de E-vraag van de WP afhangt van de warmtevraag en los staat van de bekende gelijktijdigheidberekeningen van het E-verbruik. Overigens staat dit geval met g_WP ≈ 0,3 wel beschreven in tabel 3.

2.3 Kostenvergelijking tussen basis- en definitief ontwerp

Aan de hand van de gegevens van de vorige paragraaf worden de kosten berekend van de netwerken met en zonder WP's in de twee nieuwbouwwijken, zie tabel 4.

Uitgangspunten bij de kostenvergelijking, aangeleverd door Alliander:

- transformatorruimte EUR 25.000,-- (400 kVA); EUR 40.000,-- (630 kVA); EUR 50.000,-- (1000 kVA); EUR 75.000,-- (2000 kVA)
- grond t.b.v. traforuimte, afmetingen incl. 1 m rondom: 4x4 (beperkt toegankelijk) c.q. 6x6 (betreedbaar)
- grond t.b.v. traforuimte, kosten: Alphen: EUR 800,-- p.m^2; Zutphen EUR 150,-- p.m^2
- MS-kabel EUR 100,-- p.m. incl. evt. boren
- LS-kabel EUR 40,-- p.m. (50 mm^2), c.q. EUR 50,-- p.m. (95 mm^2 en 150 mm^2).

In Aqua Vicus, Alphen, is in het basisontwerp een onderscheid gemaakt tussen inpassing in een bestaande nabijgelegen MSR en bouw van een nieuwe MSR. In geval van inpassing in een bestaande MSR werd een deel van de MSR-kosten toegerekend aan de nieuwe wijk. Nog voordat dit basisontwerp werd gerealiseerd, werd bekend dat er warmtepompen in de wijk zouden komen, wat alsnog een nieuwe MSR nodig maakte. Er is toen een nieuw ontwerp gemaakt, dit staat in tabel 4 omschreven als optie met WP.

In de nieuwbouwwijk De Teuge in Zutphen werd eerst het basisontwerp gerealiseerd, inclusief nieuwe MSR in de wijk. Vervolgens was het voor de inpassing van de WP's

[4] In dezelfde situatie, maar met een gelijktijdigheid van 0,7 vindt men de volgende cijfers: De Teuge: 580 kVA = factor 2,0; Aqua Vicus: 380 kVA, factor 2,2.

noodzakelijk om het net opnieuw te ontwerpen én opnieuw aan te leggen. Omdat echter ook de bestaande MS-kabels in de buurt niet voldoende capaciteit hadden, moest een nieuwe MS-aansluiting vanaf het HS-onderstation aangelegd worden. Hiervoor moest ca. 5000 m MS-kabel worden aangelegd, die door middel van een boring onder de IJssel doorgetrokken is. Dit bracht extra kosten van EUR 480.000,-- met zich mee. Deze kosten zijn weergegeven in de laatste kolom van tabel 4, wat de uiteindelijk gerealiseerde situatie weergeeft. Om een betere vergelijking met Alphen mogelijk te maken, zijn deze extra kosten voor de nieuwe MS-kabel in de voorlaatste kolom buiten beschouwing gelaten.

In de berekeningen van Alliander met GAIA is rekening gehouden met WP's met bijverwarming. Hierop zijn de kostenschattingen van tabel 4 gebaseerd. In tabel 3 zijn ook de berekende vermogenswaarden voor WP's zonder bijverwarming vermeld. Kostenschattingen op basis van deze getallen (zonder onderliggende GAIA-berekeningen) zijn gegeven in tabel 5.

Tabel 4 Investeringskosten van basis- en definitief netontwerp (WP incl. elektrische bijverwarming) in twee nieuwbouwwijken.

	Alphen, Integreren in bestaande MS-ruimte	**Alphen, Nieuwe MS-ruimte 'Watertorenpark'**		**Zutphen, Nieuwe MS-ruimte**		**Zutphen, incl. extra MS-kabel vanaf OS Zutphen**
	zonder WP, ontwerp A	**zonder WP, ontwerp B**	**met WP, gerealiseerd**	**zonder WP, gerealiseerd 1e**	**met WP, fictief (2e)**	**met WP, gerealiseerd 2e**
trafo	**n.v.t.**	**400 kVA**	**1000 kVA**	**400 kVA**	**2000 kVA**	**2000 kVA**
toegankelijkheid	beperkt toegankelijk	beperkt toegankelijk	betreedbaar	beperkt toegankelijk	beperkt toegankelijk	beperkt toegankelijk
vergunning	n.v.t.	meldingsplicht	lichte bouwverg.	meldingsplicht	meldingsplicht	meldingsplicht
grondoppervlak	n.v.t.	4 m x 4 m	6 m x 6 m	4 m x 4 m	6 m x 6 m	6 m x 6 m
onderhoud MSR	n.v.t.	€ 800 p.j.	€ 800 p.j.	€ 800 p.j.	€ 800 p.j.	€ 800 p.j.
kosten MS-ruimte	€ 6.000*	€ 25.000	€ 50.000	€ 25.000	€ 75.000	€ 75.000
grond onder MRS	€ 3.000*	€ 13.000	€ 30.000	€ 2.000	€ 5.000	€ 5.000
lengte MS-kabel	n.v.t.	2x240 m	2x240 m	150 m	150 m	*5000 m*
kosten MS-kabel (incl. evt. boren)	€ 11.000*	€ 48.000	€ 48.000	€ 15.000	€ 15.000	€ 480.000
lengte LS-kabel	2100 m (1)	1100 m (2)	1570 m (3)	700 m	2400 m	2400 m
kosten LS-kabel	€ 105.000	€ 55.000	€ 77.000	€ 35.000	€ 120.000	€ 120.000
verwijderen 200 m LS-kabel						€ 3.000
kosten totaal	**€ 125.000***	**€ 141.000**	**€ 205.000**	**€ 77.000**	**€ 215.000**	**€ 683.000**
kosten per woning	€ 1.200	€ 1.400	€ 2.000	€ 400	€ 1.200	€ 3.700

* Voor een meer realistische vergelijking is 1/4 van de kosten van het bestaande 400 kVA station incl. MS-kabel meegeteld.
(Ca. 100 huizen met 1 kVA gelijktijdig op een 400 kVA trafo is ongeveer 1/4 deel.)

(1) Zou op 2 strengen kunnen, orde 30% minder kabellengte dan (3), maar wel vanaf bestaande MS-ruimte op ca. 500 m afstand.

(2) Zou op 2 strengen kunnen, orde 30% minder kabellengte dan (3).

(3) Gerealiseerde situatie in Aqua Vicus.

Tabel 5 Investeringskosten van fictieve netontwerpen in twee nieuwbouwwijken met WP's met en zonder elektrische bijverwarming.

	Alphen, Nieuwe MS-ruimte				**Zutphen, Nieuwe MS-ruimte**			
	zonder WP	**met WP *zonder* bijverwarming g_WP = 1**	**met WP *incl.* bijverwarming g_WP = 1**	**met WP *incl.* bijverwarming g_WP = 0,7**	**zonder WP**	**met WP *zonder* bijverwarming g_WP = 1**	**met WP *incl.* bijverwarming g_WP = 1**	**met WP *incl.* bijverwarming g_WP = 0,7**
P_max belasting	170 kVA	470 kVA	880 kVA	670 kVA	300 kVA	720 kVA	1710 kVA	1270 kVA
P_nominaal trafo	**400 kVA**	**630 kVA**	**1000 kVA**	**1000 kVA**	**400 kVA**	**1000 kVA**	**2000 kVA**	**1600 kVA**
grondoppervlak	4 m x 4 m	4 m x 4 m	6 m x 6 m	6 m x 6 m	4 m x 4 m	6 m x 6 m	6 m x 6 m	6 m x 6 m
kosten MS-ruimte	€ 25.000	€ 40.000	€ 50.000	€ 50.000	€ 25.000	€ 50.000	€ 75.000	€ 75.000
grond onder MRS	€ 13.000	€ 13.000	€ 30.000	€ 30.000	€ 2.000	€ 5.000	€ 5.000	€ 5.000
lengte MS-kabel	2x240 m	2x240 m	2x240 m	2x240 m	150 m	150 m	150 m	150 m
kosten MS-kabel (incl. evt. boren)	€ 48.000	€ 48.000	€ 48.000	€ 48.000	€ 15.000	€ 15.000	€ 15.000	€ 15.000
lengte LS-kabel	1100 m	1400 m (1)	2400 m (1)	2000 m (1)	700 m	1600 m (1)	2400 m	2000 m (1)
kosten LS-kabel	€ 55.000	€ 70.000	€ 120.000	€ 100.000	€ 35.000	€ 80.000	€ 120.000	€ 100.000
kosten kotaal	**€ 141.000**	**€ 171.000**	**€ 248.000**	**€ 228.000**	**€ 77.000**	**€ 150.000**	**€ 215.000**	**€ 195.000**
kosten per woning	€ 1.400	€ 1.600	€ 2.400	€ 2.200	€ 400	€ 820	€ 1.200	€ 1.100

(1) Schatting

2.4 Discussie netwerkinvestering

Doelstelling van bovenstaande analyse is een vergelijking te maken tussen een netwerk aangepast voor WP's en een basisontwerp voor nieuwbouwwijken, beide opgezet vanaf nul. De hieronder genoemde meerkosten staan ook samengevat in tabel 6.

In Alphen aan den Rijn zijn de gerealiseerde kosten voor het netwerk met inpassing van WP's (met bijverwarming) ongeveer EUR 205.000,--. Dit betekent een meerkostenpost t.o.v. de situatie zonder WP's van EUR 64.000,-- tot 80.000,--. **De meerkosten in Alphen zijn dus 50% tot 60% van de oorspronkelijke netwerkkosten.** Dit wordt veroorzaakt door de duurdere trafo en een kleine toename van de kabellengte.

Merk op dat het net in Alphen *niet* op de piekvraag van de WP's is uitgelegd. Indien het net wel op de **piekvraag van de WP's** zou zijn uitgelegd (g_WP = 1), zou de LS-kabellengte toegenomen zijn tot ca. 2400 m. Hiermee zouden de netwerkkosten op EUR 248.000,-- gekomen zijn, wat een meerprijs van EUR 107.000,-- tot 123.000,-- betekent, d.w.z. een meerprijs van ruwweg **75% tot 100%**.

De kosten voor het netwerk in Alphen met inpassing van WP's met bijverwarming en een gelijktijdigheid **g_WP = 0,7** zouden ongeveer EUR 228.000,-- zijn. Dit betekent een meerprijs van **60% tot 80%**.

De kosten voor het netwerk in Aqua Vicus te Alphen met inpassing van WP's ***zonder*** bijverwarming (g_WP = 1) worden geschat op ongeveer EUR 171.000,--, d.w.z. een meerkostenpost van **20% tot 40%**.

In Zutphen zijn de gerealiseerde kosten voor het netwerk met inpassing van WP's (met bijverwarming) ongeveer EUR 215.000. Dit betekent een meerkostenpost t.o.v. de situatie zonder WP's van EUR 138.000,--. **De meerkosten in Zutphen zijn dus 180% van de originele netwerkkosten.** Dit is dus bijna een verdrievoudiging van de netwerkkosten. Dit wordt veroorzaakt door de drie maal zo dure trafo en een verdrievoudiging van de LS-kabellengte. Merk op dat het net hier op de **piekvraag van de WP's** is uitgelegd.

De kosten voor het net in Zutphen met inpassing van WP's met bijverwarming en een gelijk-tijdigheid **g_WP = 0,7** zouden ongeveer EUR 195.000,-- zijn. Dit is een meerprijs van **150%**.

De kosten voor het netwerk in Zutphen met inpassing van WP's ***zonder*** bijverwarming worden geschat op ongeveer EUR 150.000,--, d.w.z. meerkosten van ongeveer **100%**.

Het verschil in de werkelijke meerkosten tussen deze twee nieuwbouwwijken wordt veroorzaakt door een verschil in de ontwerpregels: Voor Alphen is een gelijktijdigheid-berekening gemaakt volgens de toen geldende standaardregels (2005), waarin de warmtepomp als ieder ander apparaat in huis werd meegenomen. Dit leverde een gelijktijdigheid van 0,3 op en hierdoor was het niet nodig om de laagspanningskabels te verzwaren. Hierdoor waren de meerkosten in Alphen ruwweg 50%. In de netberekeningen voor Zutphen is volgens de nieuwe rekenregels (2007) rekening gehouden met het piekvermogen van de warmtepompen met een gelijktijdigheid gelijk aan 1. Hieruit bleek dat de laagspanningskabels flink uitgebreid moesten worden, resulterend in hogere investeringskosten. Hierdoor waren de meerkosten in Zutphen ruwweg 180%.

Als de beide wijken vergeleken worden onder gelijke aannames, volgen de waarden van de meerkosten zoals genoemd in tabel 6.

Tabel 6 Meerkosten van het E-net met warmtepompen t.o.v. het basisnet zonder WP's

Meerkosten basisnet = 0%	**De Teuge, Zutphen**	**Aqua Vicus, Alphen a/d Rijn**
WP inclusief bijverwarming, g_WP = 1	180%	75%-100%
WP inclusief bijverwarming, g_WP = 0,7	150%	60%-80%
WP zonder bijverwarming, g_WP = 1	100%	20%-40%

Tabel 6 geeft aan dat de meerkosten voor een net met warmtepompen inclusief elektrische bijverwarming ruwweg 100% tot 200% zijn bij een gelijktijdigheid van 1. Bij een aangenomen gelijktijdigheid van 0,7 zijn de meerkosten iets lager, maar dit lijkt niet veel verschil te maken met g = 1. Voor warmtepompen zonder bijverwarming vallen de meerkosten van het net nog lager uit. Vooral in Alphen is het verschil met het basisnet niet zo groot.

Verder geeft tabel 6 aan dat de meerkosten voor De Teuge hoger uitvallen dan die voor Aqua Vicus. Dit heeft vooral te maken met de inrichting van de wijken: Aqua Vicus is redelijk ruim opgezet met veel waterlopen, waardoor in het basisnet reeds meerdere kabels met weinig huizen aanwezig zijn, die veelal zonder upgrade geschikt zijn voor de situatie met WP's. De Teuge is juist een compacte wijk, die in het basisontwerp slechts een klein aantal kabelstrengen nodig had met daarop het maximale aantal huizen. Voor de inpassing van WP's moesten hier veel extra kabels aangelegd worden.

Hiermee samen hangt ook het grote verschil in de netwerkkosten *per woning* tussen Alphen en Zutphen (onderste regel in de tabellen 4 en 5). Dit wordt veroorzaakt door de hogere grondprijs voor de MSR, de langere MS-kabels en de langere LS-kabels in Alphen (samenhangende met een minder compacte wijkopbouw).

In deze beschouwing is ervan uitgegaan dat bekend is dat er warmtepompen worden geplaatst, voordat het netwerk wordt gelegd,. Dit blijkt in de praktijk vaak niet het geval, waardoor in de praktijk de meerkosten vaak nog hoger zijn dan de hierboven genoemde percentages. Een voorbeeld hiervan is De Teuge in Zutphen, waar Alliander eerst een net heeft uitgelegd zonder ingelicht te zijn over de komst van WP's. Later heeft Alliander aanpassingen verricht, zoals de vervanging van het trafostation en de aanleg van meer kabels. Het 400kVA-trafostation kon ergens anders herplaatst worden, zodat alleen de transportkosten extra waren. Verder zijn enkele te dunne kabels (ca. 200 m) van het oorspronkelijke ontwerp verwijderd. De meerkosten voor deze opwaardering van het net (naast de noodzakelijke netuitbreiding) in De Teuge bedroegen ongeveer EUR 400,-- (transport oude trafostation) + EUR 3.000,-- (verwijdering te dunne kabels) = EUR 3.400,--. Deze kosten zijn evenals de eerder genoemde meerkosten (EUR 480.000,--) van de nieuwe aansluiting op het HS-onderstation in Zutphen weergegeven in de laatste kolom van tabel 4.

In De Teuge in Zutphen is ook een gasnet aangelegd, betaald door de Gemeente. De investeringskosten hiervoor bedroegen EUR 40.000,--. Volgens de informatie van Liander zijn hierop geen verbruikers in De Teuge aangesloten. Het gasnet zou gebruikt kunnen worden om in de vraagpieken bij extreme koude te voorzien (d.w.z. bijstoken op gas en basiswarmtevraag met elektrische WP). In de situatie in Zutphen levert deze optie de kosten-vergelijking van tabel 7 op. Deze vergelijking laat zien dat de investeringskosten voor het verzwaarde net (all-electric) ruwweg het dubbele van de kosten voor basis-E en gas zijn. Analyse van andere wijken moet aantonen of dit een meer algemeen geldende uitkomst is.

Tabel 7 Investeringskosten basis-E-net en gasnet versus verzwaard E-net in De Teuge

	basis E-net en gasnet	**verzwaard E-net en geen gasnet**
kosten E-net	EUR 77.000,--	EUR 215.000,--
kosten gasnet	EUR 40.000,--	EUR 0
kosten totaal	**EUR 117.000,--**	**EUR 215.000,--**

2.5 Conclusie netwerkinvestering

De komst van warmtepompen in een woonwijk betekent een forse toename van de verwachte maximale vermogensvraag t.o.v. de basissituatie, wat op zijn beurt leidt tot een toename in de netinvesteringskosten. De toename van het maximale **vermogen** is een **factor 5 tot 6** als de elektrische bijverwarming van de WP's wordt meegenomen, te weten 1710 kVA t.o.v. 300 kVA in Zutphen en 880 kVA t.o.v. 170 kVA in Alphen. De vermogens-toename is ongeveer een **factor 2 tot 3** als de elektrische bijverwarming van de WP's *niet* wordt meegenomen, te weten 720 kVA t.o.v. 300 kVA in Zutphen en 470 kVA t.o.v. 170 kVA in Alphen.

De meerkosten t.g.v. deze vermogenstoename zijn niet evenredig, omdat het basis-netontwerp een zekere overdimensionering in zich heeft. De meerkosten in Alphen blijken 75% tot 100% van de oorspronkelijke netwerkkosten te zijn (voor WP's met bijverwarming). Voor WP's zonder bijverwarming zijn de geschatte meerkosten 20 tot 40%. De meerkosten in Zutphen blijken 180% van de oorspronkelijke netwerkkosten te zijn (voor WP's met bijverwarming). De geschatte meerkosten voor WP's zonder bijverwarming zijn ongeveer 100%.

Door de inpassing van elektrische warmtepompen kan de capaciteit van het midden-spanningsnet eerder dan verwacht bereikt worden, waardoor extra voorzieningen benodigd zijn, die extra kosten met zich meebrengen. Dit geval deed zich voor in Zutphen t.b.v. De Teuge, waar een nieuwe MS-aansluiting op een onderstation gerealiseerd moest worden met een investering van ruim een half miljoen euro.

Een vergelijking tussen het verzwaarde elektriciteitsnet en de combinatie van basis-E-net met een gasnet in Zutphen levert op dat de laatste optie goedkoper is, zelfs bij nieuwe aanleg.

3 ANALYSE VAN DE CAPACITEIT VAN HET ELEKTRICITEITSNET

Dit hoofdstuk behandelt aan de hand van praktijkmetingen de capaciteit van het elektriciteitsnet dat in de grond ligt. In beide nieuwbouwwijken zijn extra maatregelen genomen om de vermogensstromen in het net te meten. In de MSR's zijn daartoe meetinstrumenten aangebracht. Helaas zijn van De Teuge in Zutphen nog geen meetgegevens uit een winterperiode beschikbaar. Daarom wordt in dit hoofdstuk alleen ingegaan op Aqua Vicus te Alphen aan den Rijn.

In Aqua Vicus, Alphen aan den Rijn, zijn meetgegevens van enige jaren beschikbaar. De gegevens van de uitschieters in de vermogensvraag tijdens de koudste winterperioden zijn in deze paragraaf weergegeven, zie tabel 8. De meetgegevens geven de dagelijkse maxima van het 5 minutengemiddelde van de trafobelasting S_trafo weer (schijnbaar trafovermogen aan laagspanningszijde)[5]. De temperatuurgegevens heeft Liander opgevraagd bij het KNMI. Voor de regio Alphen zijn de meetgegevens van Schiphol als meest relevant genomen.

De maximale trafobelasting in Aqua Vicus van de afgelopen drie winters staat in tabel 8. Het gegeven percentage van S_trafo is betrokken op de trafo van 400 kVA uit de basisberekening (zonder WP's) van Liander. Uiteindelijk is een trafo van 1000 kVA geplaatst.

Tabel 8 Maximale trafobelasting in Aqua Vicus, 2006-2009

piekwaarden in de winter	**2006-2007**		**2007-2008**		**2008-2009**			
min. dagtemperatuur	-4,2°	-2,0°	-7,2°	-2,0°	-8,1°	-6,8°	-8,0°	-4,0°
P_trafo (kW)	360	340	410	380	440	420	440	440
Q_trafo (kVAr)	180	190	180	180	170	185	180	180
S_trafo (kVA)	402	389	448	420	472	459	475	475
S_trafo (% van 400kVA)	101%	97%	112%	105%	118%	115%	119%	119%

Winter 2006-2007, Periode 1 jan. 2007 – 15 feb. 2007:
Temperatuur tussen 4° en 14° C; S_trafo dag-maxima ca. 310 kVA
Winter 2007-2008, Periode 1 dec. 2007 – 31 jan. 2008:
Temperatuur tussen 2° en 12° C; S_trafo dag-maxima ca. 320 kVA
Winter 2008-2009, Periode 1 jan. 2009 – 31 jan. 2009:
Temperatuur tussen 0° en 8° C; S_trafo dag-maxima ca. 330 kVA

[5] Ook worden de afgaande velden bemeten met een verplaatsbare meter. Hier zijn vooralsnog geen overbelastingen gemeten.

De meetgegevens in tabel 8 geven aan dat gedurende enkele perioden per winter de transformator uit de basisberekening overbelast zou zijn geworden, nl. ca. 20% overbelasting bij een minimale etmaaltemperatuur van ongeveer -8° C. Een aardgasnet wordt uitgelegd op een capaciteit die voldoende dient te zijn voor een *maximale* etmaaltemperatuur van -12° C. Als we in het elektriciteitsnet ook rekenen met deze condities, zou de basistransformator in Aqua Vicus nog meer overbelast zijn geworden. Omdat uiteindelijk een trafo van 1000 kVA geplaatst is, zal deze naar verwachting niet overbelast raken, zie ook tabel 2, waaruit blijkt dat 930 kVA nodig is bij 100% WP-vraag.

De kabels in Aqua Vicus zijn gedimensioneerd volgens de basisberekening zonder WP's. Een berekening met WP's, met een gelijktijdigheid van 0.33, gaf dezelfde kabeldimensies. Als rekening wordt gehouden met een hogere gelijktijdigheid, zal dit waarschijnlijk leiden tot een ontwerp met andere kabeldimensies. Het valt dan ook te verwachten dat bij extreme koude, als vrijwel alle WP's met hun bijverwarming aan staan, enkele van de kabels in Aqua Vicus overbelast zullen raken.

Uit de meetwaarden van tabel 8 blijkt dat het blindvermogen op de piekwaarden gemiddeld 180 kVAr was. Dit betekent dat de cosφ hier gemiddeld 0,9 was. Dit is ook de waarde die GAIA gebruikt in het netontwerp. Uit de meetgrafieken van Liander blijkt dat het blindvermogen tijdens de rest van de wintertijd (overdag) ook redelijk in de buurt van 180 kVAr lag, o.a. ook op de momenten van de dagmaxima genoemd onder tabel 8. Op die momenten was de cosφ ongeveer gelijk aan 0,8. Dit is dus een veel lagere waarde, die echter geen invloed heeft op de maximale netbelasting. Of en in welke mate de warmtepompen bijdragen aan deze lage cosφ, zal verder moeten worden onderzocht met behulp van metingen, zowel in de afgaande velden in de MSR, als in de huizen en op de warmtepompen zelf.

4 INVESTERINGS- EN EXPLOITATIEKOSTEN VAN WARMTEPOMPEN

4.1 Inleiding

Om de effecten van de keuze voor de energievoorziening naar de woonhuizen compleet te kunnen inschatten, is het nodig om een raming van de investerings- en exploitatiekosten van warmtepompen in woningen op te stellen naast een raming van dezelfde kosten voor een meer 'traditionele' HR-CV-ketelinstallatie. Op basis van deze kostenvergelijking zullen particulieren en projectontwikkelaars de keuze voor een verwarmingstype in de meeste gevallen maken. De groei van de markt voor warmtepompen zal daarom voor een groot deel afhankelijk zijn van deze kostenvergelijking. Om dit inzichtelijk te maken heeft KEMA een kostenvergelijking opgesteld voor deze beide verwarmingssystemen.

Uitgangspunt voor de kostenvergelijking is een redelijk kale woning, die echter wel is ontworpen met voorkennis van de geplande verwarmingsinstallatie. Dit houdt in dat er geen kostbare aanpassingen achteraf dienen te worden gepleegd om de installatie te faciliteren. Denk hierbij aan aspecten zoals opstelruimtes, kabel- en leidingschachten en geluidsisolatie. Tweede uitgangspunt is dat installatie slechts de basisfuncties ruimteverwarming en warmtapwaterbereiding hoeft te vervullen. De passieve koeloptie die de warmtepomp tegen lage kosten biedt (en waarmee tevens de bron wordt geregenereerd, zodat het geheel als systeem met een beter rendement functioneert), hoeft door de HR-CV niet met een additionele compressorkoelinstallatie (of 'airco') te worden gecompenseerd. Met een verwijzing naar de optimaal geïsoleerde moderne woonhuizen wordt het aspect comfort-koeling wel geregeld in de vergelijking meegenomen. Aanvullend argument hierbij is vaak dat mensen door gewenning aan airco's in auto's en werksituaties ook in de eigen woonomgeving over koeling willen beschikken. In nieuwbouwwijken is het een bekend verschijnsel dat als er één bewoner begint met een airco uit de bouwmarkt, de rest snel volgt in een warme periode. Voor de netbelasting is de onvermijdelijk hoge gelijktijdigheid wellicht een punt van aandacht. Tenslotte, in het duurdere segment nieuwbouwwoningen is 'comfort-koeling' een welkom verkoopargument, zowel in eengezinswoningen als in appartementen met collectieve voorzieningen.

De complete HR-CV-installatie is inmiddels vertrouwd. De ketel kan redelijk flexibel in de woning worden geplaatst, heeft aansluitingen nodig op het gas-, water- en elektriciteitsnet en naast de dakdoorvoer voor de rookgassen is een kleine aansluiting voor condensafvoer op het riool voldoende. De gevraagde warmte kan met hoge-temperatuurs radiatoren (passief en klein) snel en goed regelbaar naar wens worden overgedragen aan de ruimtes van het huis. Voor warm tapwater kan voor het gebruikscomfort van snel heet water een boiler aan het systeem worden toegevoegd. In moderne woningen is het gevraagde tapwatercomfort

bepalend voor de in aanschaf niet heel kostbare capaciteit van de HR-CV-ketel ("Wilt U uw bad snel kunnen vullen terwijl iemand elders een douche neemt?").

De complete WP-installatie is minder vertrouwd en aanzienlijk complexer dan de HR-CV. Om geluidsoverlast uit te sluiten wordt de warmtepomp bij voorkeur zorgvuldig direct op een verzwaarde muur geplaatst die niet aan een slaapvertrek grenst. Naast aansluitingen op het water- en elektriciteitsnetwerk (geen gasaansluiting en dakdoorvoer dus voor een elektrische WP!) is de warmtepomp met een aan- en afvoerleiding met de LT-warmtebron verbonden. Deze leidingen kunnen een lage temperatuur hebben zodat ze goed geïsoleerd moeten worden om problemen met condensatie in de woningen te voorkomen. Een eenvoudige uitvoering van de laagwaardige warmtebron is de individuele (verticale of horizontale) bodemwarmtewisselaar. Een hoogwaardiger uitvoering is een koude/warmteopslag systeem met behulp van een doublet boringen in een aquifer (een afgesloten diepe waterlaag in de bodem). Om rendabel te kunnen zijn worden dergelijke systeem collectief aangelegd (of in combinatie met grotere utiliteit) en beheerd door een exploitatiemaatschappij.

Voor een beter rendement verwarmen warmtepompen bij voorkeur tot een zo laag mogelijke temperatuur. Deze temperatuur wordt met behulp van een zgn. 'stooklijn' door de buitentemperatuur bepaald. Om met een dergelijk lage temperatuur de woning toch behaaglijk te verwarmen, wordt een warmtepomp gecombineerd met vloer- en/of wandverwarming. Een dergelijk LT-afgifte systeem heeft een aantal beperkingen zoals de beperkte keuzevrijheid in vloerbedekking, maar wordt over het algemeen als comfortabel ervaren. Verder kent een LT-systeem vanwege het geringe temperatuursverschil en de grote (bouw)-massa een aanzienlijke traagheid. Het toepassen van serieuze nachtverlaging is niet zinnig en voor langdurig ventileren moet worden gewaakt bij lage buitentemperaturen. Vanwege de voor woontoepassingen lage thermische capaciteit van warmtepompen zijn deze niet geschikt als doorstroomtoestel zodat ze met een forse boiler voor het warm tapwater worden gecombineerd. Deze boiler is comfortabel en snel, zolang deze tenminste niet leeg is. Vanwege de complexiteit en het vaak bewust beperkte vermogen van de WP-installatie luistert het ontwerp nauwer en moet ook het (waterzijdig) inregelen van de installatie goed en zorgvuldig gebeuren. Grote problemen met warmtepompwoningen kunnen gemakkelijk ontstaan door kleine onvolkomenheden in het ontwerp, de regeling en/of de onjuiste bediening.

4.2 Complicerende factoren in de vergelijking

Vooruitlopend op de getalsmatige ramingen die volgen zal uit de beide systeembeschrijvingen spreken dat de warmtepomp niet alleen complexer is, maar daarmee ook kostbaarder in aanschaf. Naast de reeds aangegeven mogelijke meerwaarde voor 'comfortkoeling' is er een tweede compensatieargument. Immers, met de huidige EPC-eisen moet in een woning waar een HR-CV-ketel voor de verwarming zorgt aanvullende maatregelen getroffen worden om aan de EPC-normen te voldoen. Deze maatregelen kunnen zich richten op de 'schil' van de woning (betere muurisolatie, hogere isolatiewaarden voor het glas en een betere kierdichtheid) of bestaan uit het aanbrengen van bijvoorbeeld PV-panelen en/of zonnecollectoren op de woning. Deze aanvullende maatregelen laten zich lastig exact begroten daar de uitvoering van geval tot geval zal verschillen. Met deze twee compensatieargumenten zijn twee termen in de vergelijking geïntroduceerd waarmee de vergelijking iedere gewenste kant is op te buigen.

Een derde punt waarop de diverse vergelijkingen onderling van elkaar verschillen zijn de gehanteerde aannames voor de rendementen waarmee de installaties warmte voor ruimteverwarming en warm tapwater bereiding afgeven. Moderne, superzuinige HR-ketels dragen een keurmerk met de aanduiding "107" maar het zal duidelijk zijn dat dit rendement (op onderwaarde, ~ 96% bovenwaarde) slechts tijdens stationair bedrijf in een labopstelling direct aan het toestel gemeten kan worden. De bepaling van tapwaterrendementen is helemaal een discipline op zich. Het rendement direct aan het toestel gemeten ligt een stuk hoger dan het rendement bepaalt op basis van de gemeten hoeveelheid (nuttig!) warm water aan het tappunt. Afhankelijk van tappatronen, toestel- en leidingverliezen kan dit gebruiksrendement een stuk lager uitvallen.

Voor warmtepompen wordt de efficiency uitgedrukt met de COP-waarde (of 'Coefficient of Performance'). De COP is de verhouding tussen de hoeveelheid nuttig afgegeven energie in de vorm van warmte en de hoeveelheid opgenomen compressorenergie. Waarden in de range van 3 tot 5 zijn goed mogelijk. Een andere veel gebruikte indicator voor warmtepompen is de 'Seasonal Performance Factor' (of SPF). In de SPF is naast de zuivere compressorenergie ook al het hulpenergieverbruik van de WP-installatie meegenomen.

4.3 Vergelijking investeringskosten

Bij het vaststellen van de totale investeringskosten voor een installatie kunnen verschillende onderdelen worden onderscheiden, zie tabel 9. Per onderdeel kan de aanschafprijs worden omgezet in jaarlijkse kosten door met aangenomen afschrijftermijn en rentevoet de annuïteit te bepalen. Alle gehanteerde prijzen zijn die zoals deze gelden voor de particulier, hetgeen wil zeggen inclusief alle bijkomende kosten, accessoires en BTW. De gehanteerde prijzen, grotendeels overgenomen uit reeds op KEMA aanwezige databestanden die zijn opgebouwd in eerder uitgevoerde projecten, gaan uit van een installatie voor een degelijke eengezinswoning met ongeveer 120 m^2 bewoond oppervlak. In eerste instantie wordt de kostenvergelijking uitgevoerd zonder eventuele subsidies in de beschouwing mee te nemen. De motivatie hiervoor is dat door subsidie de kosten niet wijzigen, slechts de verdeling over de partijen die de kosten voor hun rekening nemen verandert. In paragraaf 4.3.1 wordt het effect van de huidige subsidieregeling besproken.

Voornaamste onderdeel is het verwarmingstoestel zelf waarvoor een prijs is begroot inclusief de regeling en de complete montage door een specialist. Belangrijke tweede post wordt gevormd door de warmte-afgiftelichamen, voorzieningen waarmee de warmte van het toestel aan de woning kan worden overgedragen. Voor een HR-CV zijn dit de radiatoren en het verbindende leidingwerk, opnieuw inclusief de montage. Voor een WP zoals beschreven een kostbaarder lage-temperatuurs warmte-afgiftesysteem bestaande uit vloer- en/of wand-verwarming.

Alleen bij een warmtepompinstallatie komt hier als derde grote post de voorziening bij waarmee liefst hoogwaardige bronwarmte naar de WP toe wordt gebracht. In de berekening wordt uitgegaan van een redelijk kostbare individueel geboorde verticale warmtewisselaar. In het geval dat iedere woning een eigen, individuele bronwarmtevoorziening krijgt, is dit in de Nederlandse situatie vaak een u-vormige verticale buis. Vanwege de hardere bodem is in het ons omringende buitenland ook de horizontale bodemwarmtewisselaar populair. Een warmte/koudeopslagsysteem met twee in de regel diepe injectiepunten in een geschikte afgesloten watervoerende laag (of aquifer) kan alleen rendabel worden aangelegd wanneer er een groot aantal woningen op worden aangesloten (vanaf zo'n 75). De kwaliteit van de bronwarmte uit een dergelijk WKO-systeen is hoger, hetgeen zich vertaalt naar betere prestaties voor de warmtepomp. Bij een efficiënte exploitatie van het bronwarmtenetwerk zal een aansluiting op een collectief bronsysteem redelijk vergelijkbare maandelijkse kosten met zich mee brengen. Het grootste verschil is dat voor een collectief systeem de financiering door een externe partij zal geschieden (die ook weer zijn risico in rekening brengt), zodat de bewoner lagere investeringskosten heeft en slechts gering hogere exploitatiekosten.

Alleen voor de CV-gas installatie moeten dan nog de relatief bescheiden kostenposten voor de gasaansluiting en de rookgasdakdoorvoer worden opgevoerd. De vergelijking kan worden uitgebreid met de kosten voor aanschaf van de optie 'comfort'-koeling en de benodigde EPC-aanpassingen. Tot slot wordt er nog een opslag voor de aannemer toegevoegd omdat het in beide gevallen om nieuwbouwwoningen zal gaan die compleet worden opgeleverd. Deze opslag (10% over de som) zal een eventueel verschil nog eens aanzetten. De eerste investeringsramingen zijn hieronder weergegeven. Met bijna zestienduizend Euro is de WP in aanschaf ruim twee keer zo kostbaar als de traditionele HR-CV-installatie. De jaarlijkse afschrijvingskosten laten dezelfde verhouding zien.

Tabel 9 Investeringskosten van WP en HR-CV

WP	**investering EURO**	**afschrijvings-termijn**	**rente**	**jaarkosten EURO**
WP-toestel	5.200,--	15 jaar	4%	467,--
LT-warmteafgifte	5.760,--	30 jaar	4%	333,--
bronsysteem	3.500,--	30 jaar	4%	202,--
passieve koeloptie				
EPC aanpassingen				
opslag aannemer	1.446,--	30 jaar	4%	84,--
totaalinvestering	**15.906,--**			**1.087,--**

HR-CV	**investering EURO**	**afschrijvings-termijn**	**rente**	**jaarkosten EURO**
HR-CV-ketel	2.600,--	15 jaar	4%	234,--
radiatoren afgifte	2.400,--	30 jaar	4%	139,--
gasaansluiting	789,--	30 jaar	4%	46,--
rookgasdakdoorvoer	190,--	30 jaar	4%	11,--
koeloptie				
EPC aanpassingen	1.000,--	30 jaar	4%	58,--
opslag aannemer	698,--	30 jaar	4%	40,--
totaalinvestering	**7.677,--**			**527,--**

4.3.1 Effect subsidieregelingen

Omdat warmtepompen bij goed gebruik deels duurzame warmte produceren (met als optie om de warmtestroom zelfs compleet duurzaam te maken!) probeert de overheid de introductie te versnellen met behulp van bijvoorbeeld de subsidieregeling 'Duurzame Warmte'. SenterNovem geeft gemiddeld vijfduizend Euro subsidie voor een water/water-

warmtepomp (dit is een warmtepomp waarvan de bronwarmte met water wordt aangevoerd en ook de warmte met behulp van een watergevuld systeem wordt afgegeven; lucht/water-WP's bestaan ook).

Met deze aanzienlijke subsidie is het verschil tussen beide systemen vrijwel verdwenen. In aanvulling hierop komt het voor dat een gemeente met de grondprijzen varieert om de komst van vaak in aanschaf kostbaarder duurzame energieopties te stimuleren. Naast de 2 eerder genoemde 'complicerende factoren' waardering comfortkoeling en aanvulling EPC-maatregelen, maken dergelijke subsidieregelingen de kostenvergelijking vatbaar voor kleuring. "Welke kosten en premies worden waar wanneer meegenomen?" In de volgende analyses zijn de effecten van subsidies buiten beschouwing gelaten.

4.4 Vergelijking exploitatiekosten

Om de exploitatiekosten te bepalen (zie tabel 10) is het nodig om de warmtevraag voor de woningen in te schatten. Hiervoor is een bij de woninggrootte passende gemiddelde warmtevraag gekozen, waarin onderscheid gemaakt is naar de warmtevraag voor ruimte-verwarming en tapwaterbereiding. Met een bijzonder koude of juist milde winter kan de warmtevraag variëren maar dit zal in de vergelijking niet doorslaggevend zijn. Hetzelfde geldt voor een eventuele droogstookperiode voor vers opgeleverde nieuwbouwwoningen. De variatie in het stookgedrag en de wensen van verschillende huishoudens zal deze tijdelijke effecten ruim overtreffen, zodat het voor een meer nauwkeurige analyse relevant wordt om de regelmogelijkheden van de verschillende verwarmingsinstallaties na te gaan.

Verder moeten er schattingen voor het rendement (of COP) van beide toestellen worden gemaakt. De hiervoor gehanteerde aannames zijn gebaseerd op eerder door KEMA uitgevoerde meet- en modelstudies. Zeker de tapwaterrendementen zijn sterk afhankelijk van de installatie en het tapwaterpatroon. Bij het frequent tappen van een geringe hoeveelheid heet water uit een lange leiding zonder grote boiler holt dit rendement achteruit. De gehanteerde waarden vormen een redelijk gemiddelde zoals eerder bepaald in overleg met experts van onder andere TNO. De aangenomen verdeling over het gebruik van dag en nachttarief is met het afgenomen prijsverschil tussen de beide tarieven niet meer zo cruciaal, maar de warmtepomp geeft juist vanwege de systeemtraagheid en bufferende boiler de optie om het lage tarief te gebruiken (en daarmee ook de mogelijkheid tot demand site management!).

Tabel 10 Exploitatiekosten van WP en HR-CV

warmtevraag: Ruimteverwarming: 24 GJ/j; Tapwater: 11 GJ/j							
WP	RV: COP = 4,5	Tap: COP = 3		**CV**	RV: 95%	Tap: 60%	rendement HR-CV
E-verbruik WP	1481 kWh	1019 kWh			798 m^3	579 m^3	gasverbruik
daldeel = 70%	1037 kWh nacht	713 kWh nacht					
	444 kWh dag	306 kWh dag					
pompenergie	605 kWh					220 kWh	pompenergie
daldeel = 70%	424 kWh nacht						
	182 kWh dag						
directe E-bijverw.	100 kWh dag						
				€ 709	€ 0.52	1377 m^3	totaal gasverbruik
totaal E-verbruik	2174 kWh nacht	€ 0.21	€ 462	€ 53	€ 0.24	220 kWh	totaal E-verbruik
	1032 kWh dag	€ 0.26	€ 269				
onderhoudskosten jaarlijks:			€ 180	€ 150			onderhoudskosten jaarlijks
meerprijs vastrecht dag/nacht meter:			€ 60	€ 110			Vastrecht gasaansluiting
verbruikskosten totaal			**€ 971**	**€ 1,022**			

Uit bovenstaande vergelijking blijkt dat de exploitatiekosten van beide systemen in dezelfde orde van grootte liggen. Met dit resultaat zijn de hogere investeringskosten voor de WP-installatie niet terug te verdienen. Op puur financiële motieven zal er dus niet voor de warmtepomp gekozen worden. Argumenten als comfort, subsidie en de mogelijkheid tot vergroening zouden alsnog de doorslag kunnen geven. Afhankelijk van de keuze voor de manier waarop voor de HR-CV-woning de aanvullende EPC-eisen worden ingevuld, kan de warmtevraag in de HR-CV-woning lager uitvallen. Zonder nadere invulling is dit lastig exact te begroten, maar het in de tabel berekende verschil zou kunnen verdwijnen of licht naar de de andere kant omslaan. Dergelijke geringe verschillen veranderen de conclusies niet.

Om enige nuancering in de vergelijking aan te brengen zijn er twee varianten aan toegevoegd. Een scenario wordt verzorgd door de warmtepomplobby die zwaar inzetten op de comfortkoeling die de WP biedt en de aanvullende EPC-maatregelen die nodig zijn i.c.m. de CV. Ook de rendementen voor de WP schatten zij zonnig in en nemen aan dat er vrijwel geen direct elektrische bijstook nodig is.

De tegenhanger wordt verzorgd door de gaslobby die de WP matig zien functioneren waardoor er vooral overdag noodgedwongen stevig van de bijstook gebruik zien maken. De volgende 2 paragrafen tonen de resultaten van deze 2 scenario's.

4.5 Exploitatiekosten, WP-lobby variant

In deze WP-lobby variant (tabel 11) is in de investeringsvergelijking een post opgevoerd om in de HR-CV woning ook de mogelijkheid aan te brengen om te koelen (met een of twee kleine splitunits). Ook is de EPC-post in de HR-CV woningen opgeschroefd om met maatregelen aan de eisen te voldoen. Als resultaat van deze positieve, maar niet erg onredelijke aannames zijn de jaarlijkse afschrijvingen vergelijkbaar geworden.

Afhankelijk van de keuzes die worden gemaakt, zouden deze extra maatregelen kunnen resulteren in een lagere warmtevraag in de HR-CV woningen. Dit zal het geval zijn wanneer gekozen wordt voor bijvoorbeeld extra isolatie, maar niet als gekozen wordt voor andere opties, zoals bijvoorbeeld het installeren van PV panelen. In deze analyse is geen rekening gehouden met een mogelijke wijziging van de warmtevraag, omdat onbekend is hoe deze hierdoor wijzigt.

Met toevoeging van het elektrisch verbruik van de koelunits in de CV-woning en een licht gereduceerd rendement voor de CV zijn de exploitatiekosten in de CV-woning ruim hoger, hetgeen de WP-woning economisch aantrekkelijker maakt. Deze berekening laat zien dat een optimaal gebruik van een warmtepomp (inclusief de koelfunctie) een financieel aantrekkelijke situatie kan bieden, zelfs zonder aanspraak te maken op bestaande subsidie-regelingen. Met ondersteuning door de overheid in de vorm van een subsidieregeling, kan de warmtepomp voor particulieren dan zelfs als een financieel aantrekkelijke optie worden aangeboden.

Tabel 11 Investerings- en exploitatiekosten van WP en HR-CV volgens WP-lobby-variant

WP	**investering EURO**	**afschrijvings-termijn**	**rente**	**jaarkosten EURO**
WP-toestel	5.200,--	15 jaar	4%	467,--
LT-warmteafgifte	5.760,--	30 jaar	4%	333,--
bronsysteem	3.500,--	30 jaar	4%	202,--
passieve koeloptie				
EPC aanpassingen				
opslag aannemer	1.446,--	30 jaar	4%	84,--
totaalinvestering	**15.906,--**			**1.087,--**

HR-CV	**investering EURO**	**afschrijvings-termijn**	**rente**	**jaarkosten EURO**
HR-CV-ketel	2.600,--	15 jaar	4%	234,--
radiatoren afgifte	2.400,--	30 jaar	4%	139,--
gasaansluiting	789,--	30 jaar	4%	46,--
rookgasdakdoorvoer	190,--	30 jaar	4%	11,--
koeloptie	**2.500,--**	10 jaar	4%	**308,--**
EPC aanpassingen	**3.500,--**	30 jaar	4%	**202,--**
opslag aannemer	1.198,--	30 jaar	4%	69,--
totaalinvestering	**13.177,--**			**1.009,--**

warmtevraag: ruimteverwarming: 24 GJ/j; tapwater: 11 GJ/j							**WP-lobby-variant**
WP	RV: COP = **5**	Tap: COP = **3,5**		**CV**	RV: **85%**	Tap: **55%**	rendement HR-CV
E-verbruik WP	1333 kWh	873 kWh			892 m^3	632 m3	gasverbruik
daldeel = 70%	933 kWh nacht	611 kWh nacht					
	400 kWh dag	262 kWh dag					
pompenergie	**800** kWh					220 kWh	pompenergie
daldeel = **60%**	480 kWh nacht					**700 kWh**	**koelenergie**
	320 kWh dag						
directe E-bijverw.	**500** kWh dag						
				€ 785	€ 0.52	1524 m3	totaal gasverbruik
totaal E-verbruik	2024 kWh nacht	€ 0.21	€ 430	€ 224	€ 0.24	920 kWh	totaal E-verbruik
	1482 kWh dag	€ 0.26	€ 386				
onderhoudskosten							onderhoudskosten
jaarlijks:			€ 180	€ 150			jaarlijks
meerprijs vastrecht							vastrecht
dag/nacht meter:			€ 60	€ 110			gasaansluiting
verbruikskosten totaal			**€ 1,056**	**€ 1,266**			

4.6 Exploitatiekosten, gaslobby-variant

In de gaslobby-variant (tabel 12) is in de investeringsvergelijking geen waarde gehecht aan de koeloptie en pakken de EPC maatregelen voordeliger uit. Als resultaat van deze aannames bedragen de jaarlijkse afschrijvingen voor de CV-installatie een derde van die voor de WP woning. Voor de kosten van het bronsysteem is hier de jaarlijkse bijdrage genomen die de bewoners van de wijk De Teuge in rekening wordt gebracht. Deze bijdrage is hoog ten opzichte van de eerder gegeven schatting voor de bronkosten.

Verder is aangenomen dat de warmtevraag in de HR-CV-gaswoning lager ligt (door de EPC-aanpassing en het kunnen toepassen van nachtverlaging). Tevens is er in de WP-woning door een matige regeling en/of onoordeelkundig gebruik door de bewoner een relatief hoge bijdrage direct-elektrisch bijstoken.

Het hogere aandeel dagstroom en de verbeterde CV-rendementen maken dat de exploitatiecijfers voor de WP-woning bijzonder nadelig uitpakken. In deze situatie zal niet snel een voor een warmtepomp worden gekozen, zelfs niet bij de beschikbaarheid van een riante subsidie regeling. Het is echter mogelijk dat bewoners niet bewust kiezen voor een warmtepomp, of dat het warmtepompsysteem in de praktijk matig functioneert, bijvoorbeeld doordat de COP lager is, of doordat de installatie niet juist wordt gebruikt. De consument wordt dan onverwacht met hoge exploitatiekosten geconfronteerd. (Uit berichten uit de wijk De Teuge lijkt deze situatie hier wel eens mogelijk te zijn.)

Tabel 12 Investerings- en exploitatiekosten van WP en HR-CV volgens gaslobby-variant

WP	**investering EURO**	**afschrijvings-termijn**	**rente**	**jaarkosten EURO**
WP-toestel	5.200,--	15 jaar	4%	467,--
LT-warmteafgifte	5.760,--	30 jaar	4%	333,--
bronsysteem	*[10.400,--]*	30 jaar	4%	600,--[6]
passieve koeloptie				
EPC aanpassingen				
opslag aannemer	1.446,--	30 jaar	4%	84,--
totaalinvestering	**22.806,--**			**1.484,--**

HR-CV	**investering EURO**	**afschrijvings-termijn**	**rente**	**jaarkosten EURO**
HR-CV-ketel	2.600,--	15 jaar	4%	234,--
radiatoren afgifte	2.400,--	30 jaar	4%	139,--
gasaansluiting	789,--	30 jaar	4%	46,--
rookgasdakdoorvoer	190,--	30 jaar	4%	11,--
koeloptie	**0,--**	10 jaar	4%	**0,--**
EPC aanpassingen	**500,--**	30 jaar	4%	**29,--**
opslag aannemer	648,--	30 jaar	4%	37,--
totaalinvestering	**7.127,--**			**496,--**

WP: warmtevraag: ruimteverwarming: 24 GJ/j; tapwater: 11 GJ/j							**gaslobby-variant** CV: Ruimteverwarming: **20** GJ/j; Tapwater: **10** GJ/j
WP	RV: COP = **4**	Tap: COP = **2,5**		**CV**	RV: **100%**	Tap: **75%**	rendement HR-CV
E-verbruik WP	1667 kWh	1222 kWh			632 m3	421 m3	gasverbruik
daldeel = **40%**	667 kWh nacht	489 kWh nacht					
	1000 kWh dag	733 kWh dag					
pompenergie	**605** kWh					220 kWh	pompenergie
daldeel = **30%**	182 kWh nacht						
	424 kWh dag						
directe E-bijverw.	**3000** kWh dag						
				€ 542	€ 0.52	1053 m3	totaal gasverbruik
totaal E-verbruik	1337 kWh nacht	€ 0.21	€ 284	€ 53	€ 0.24	220 kWh	totaal E-verbruik
	5157 kWh dag	€ 0.26	€ 1,343				
onderhoudskosten jaarlijks:			€ 180	€ 150			onderhoudskosten jaarlijks
meerprijs vastrecht dag/nacht meter:			€ 60	€ 110			vastrecht gasaansluiting
verbruikskosten totaal			**€ 1,867**	**€ 855**			

[6] Dit is de prijs voor afschrijving van het bronsysteem en het jaarlijkse E-verbruik van het bronsysteem.

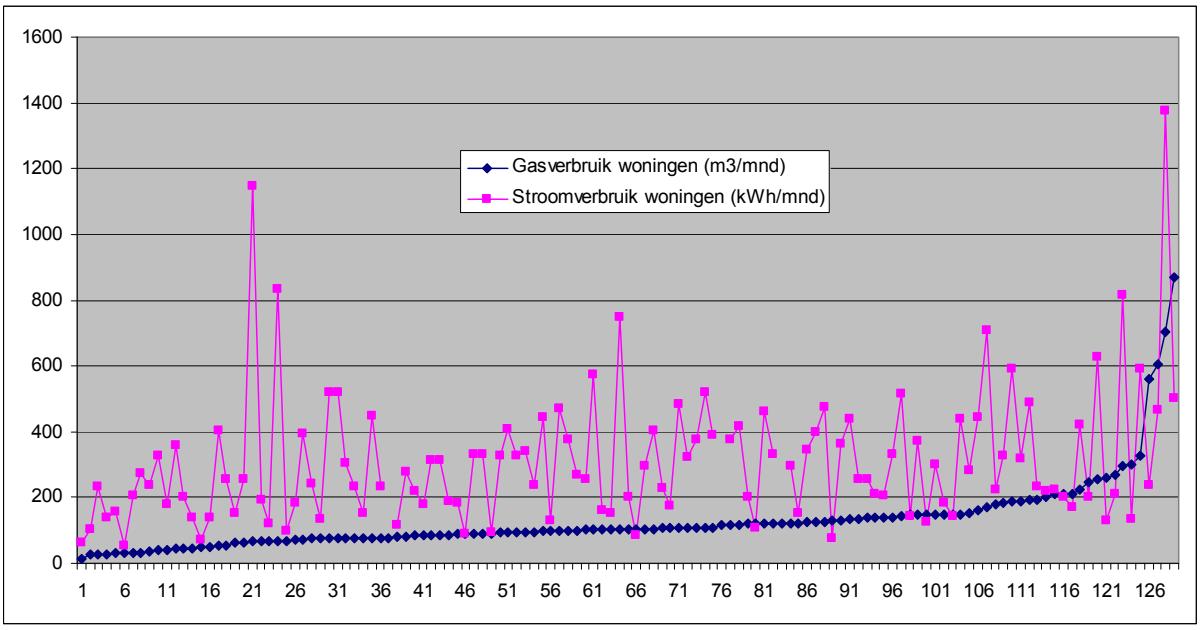
4.7 Analyse van de cijfers uit de enquête uitgevoerd door Millward Brown

Op basis van bovenstaande berekeningen blijkt dat de kosten van een warmtepomp sterk afhankelijk zijn van de lokale situatie. In het basisscenario blijken de investeringskosten voor de particulier voor een warmtepomp een factor twee hoger te liggen dan voor een goede HR-ketel. De exploitatiekosten voor de beide verwarmingsystemen liggen bij redelijk functionerende installaties dicht bij elkaar zodat de hogere investering hiermee niet wordt gecompenseerd. Door financiële stimulering van warmtepompen, de waardering van koude en/of EPC-maatregelen of bijvoorbeeld juist matig functioneren van de warmtepomp, kan dit beeld echter compleet veranderen. Dit verklaart waarom sommige bewoners ontevreden kunnen zijn met hun warmtepomp of veel hogere kosten hebben dan verwacht. De meerkosten van het elektriciteitsnetwerk dienen in deze vergelijkingen ook nog meegenomen te worden. Zie hiervoor hoofdstuk 2.

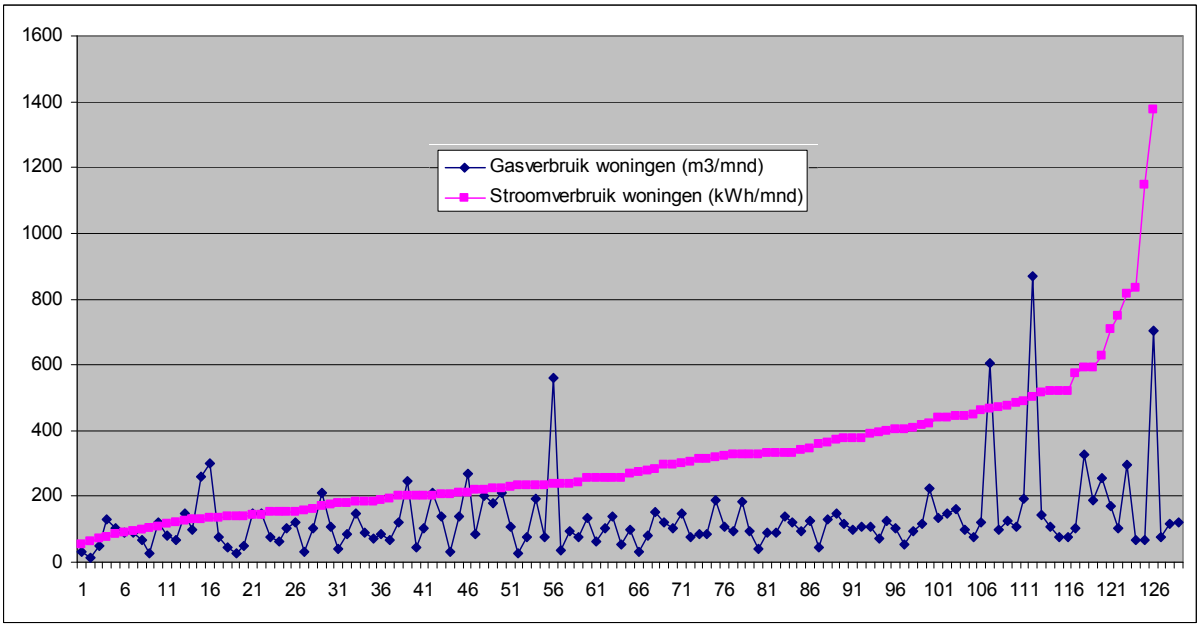
Op basis van de uitgevoerde enquête is er zicht te krijgen op het energieverbruik in de praktijk van zowel warmtepomp- als meer traditioneel CV-gasverwarmde woningen. Dit in de praktijk gemeten energie verbruik geeft een indicatie hoe de in de exploitatieberekening aangenomen verbruikcijfers overeenkomen met de werkelijkheid. In de enquête zijn in een voldoende hoog aantal huishoudens gegevens verzameld om een enigszins bruikbare statistiek op te baseren. Dat er in de praktijk onderling grote verschillen optreden blijkt wel uit de spreiding in de geregistreerde energieverbruiken.

Als eerste stap in de verdere gegevensverwerking is op basis van de gegeven gas- en elektriciteitsverbruiken en meterstandopnamedata, het verbruik per maand per woning bepaald. Figuur 1 laat zien hoe groot de spreiding nog is in de zo verkregen 'zuivere' jaarverbruiken. In de figuur zijn voor de aan de enquête deelnemende CV-gaswoningen het gemiddelde maandgasverbruik en het maandstroomverbruik weergegeven. De woningen zijn gerangschikt naar opklimmend gasgebruik. Duidelijk is dat er geen eenduidige correlatie is tussen gas- en stroomverbruik per woning. In woningen met een relatief laag gasgebruik kan juist een relatief hoog stroomverbruik optreden en omgekeerd. De verklaring voor deze spreiding ligt, naast triviale zaken als verkeerd doorgegeven meterstanden, in het bijzonder uiteenlopende bewonersgedrag en gezinsamenstellingen. Aspecten als stookpatroon, ventilatiegewoontes, douche- en badfrequentie, apparatuurbezit en hobby's (zoals orchideeënkweek of wietteelt) maken dat het energieverbruik per huishouden met factoren kan verschillen.

Dat gas- en stroomverbruik niet aan elkaar gecorreleerd zijn blijkt nog eens duidelijker als de woningen worden gesorteerd naar opklimmend stroomverbruik (figuur 2). Beide figuren laten dezelfde verzameling gas/stroomverbruikcombinaties zien.



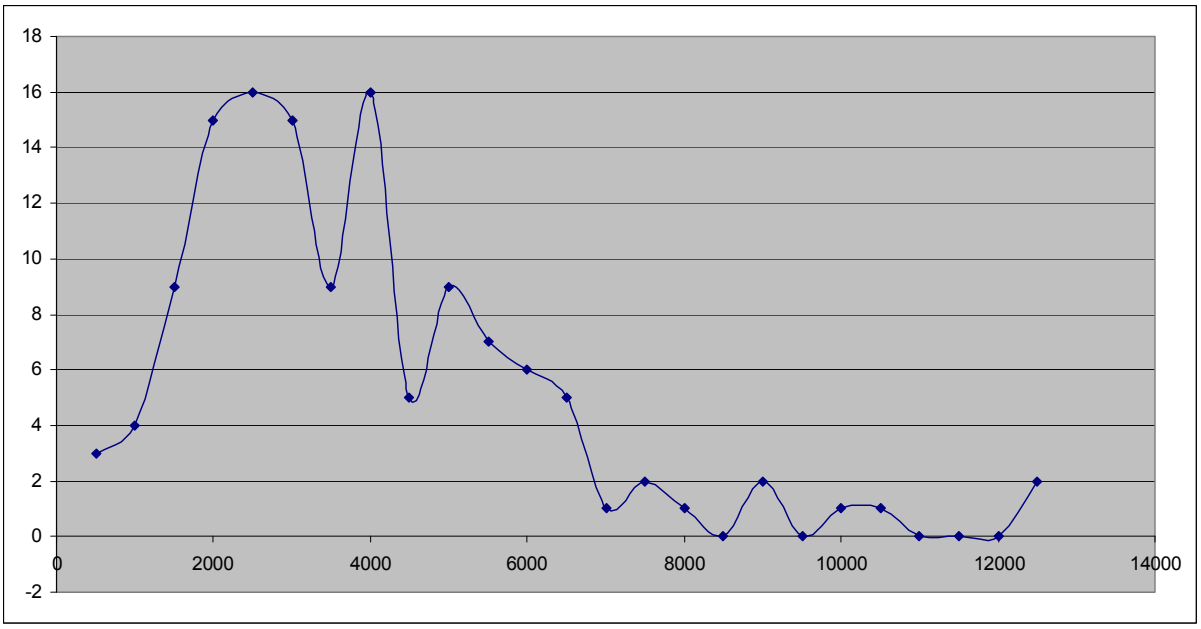
Figuur 1 Maandelijks gas- en stroomverbruik in de 129 CV-gaswoningen. De woningen zijn gesorteerd naar opklimmend gasverbruik. Per woning is het corresponderende stroomverbruik mee weergegeven



Figuur 2 Maandelijks gas- en stroomverbruik in de 129 CV-gas woningen. De woningen zijn gesorteerd naar opklimmend stroomverbruik

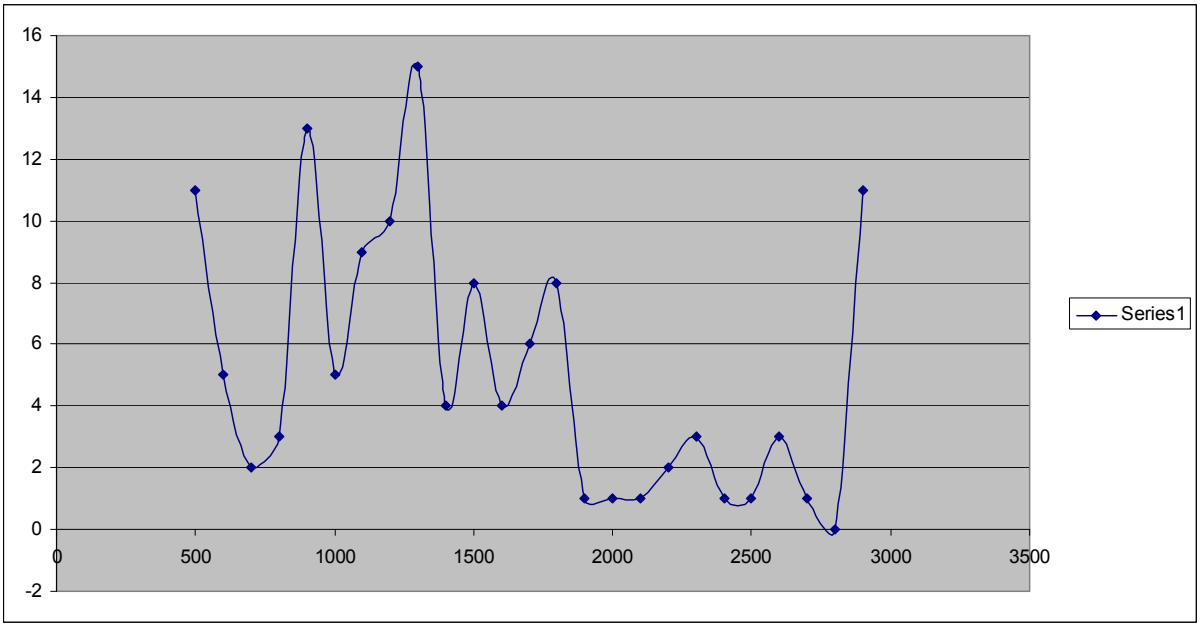
Het gasverbruik in de CV-woningen wordt aangewend voor het verwarmen van woning en tapwater en in veel gevallen koken. Het stroomverbruik in de WP-woningen wordt aangewend voor het verwarmen van woning en tapwater, tevens voor het koken en uiteraard alle overige elektrische stroomverbruikers in en rond de woning. Door Milward Brown is uit de enquêteresultaten het separate stroomverbruik van de WP-installaties bepaald (door een aangenomen gemiddelde stroomverbruik van 3.316 kWh op jaarbasis af te trekken.

De gemeten stroomverbruiken in de CV-woningen laten een forse spreiding zien. Om hier beter zicht op te krijgen is het stroomverbruik in een intervalverdeling weergegeven (figuur 3). Het verkregen resultaat is niet echt een klassieke normale verdeling met een duidelijk gemiddelde met enige spreiding hieromheen. Wel is er in de verdeling een zwaartepunt aan te wijzen tussen de 2.000 en 4.000 kWh . Om een redelijk gemiddelde te bepalen worden van de set meetwaarden de 10% extremen aan zowel boven- als onderzijde verwijderd. Zeker de zonderlinge uitschieters naar boven verstoren de bepaling. Het op deze wijze verkregen gemiddelde voor het stroomverbruik in de CV-gas woningen bedraagt 3.380 kWh. Directe bepaling van het gemiddelde zou 3.720 kWh als eindresultaat hebben opgeleverd.



Figuur 3 Verdeling van het gecorrigeerde jaarlijkse stroomverbruik in de 129 CV-gas-woningen. Het stroomverbruik is met intervallen van 500 kWh in klassen verdeeld en langs de x-as weergegeven. Langs de y-as staat het aantal CV-woningen per klasse.

Het gemiddelde gasverbruik is eveneens door het opstellen van een intervalverdeling zorgvuldig bepaald (figuur 4). De verdeling van de 129 woningen laat een meerpiekige curve zien die nog maar weinig overeenkomsten vertoont met een standaard normale verdeling. Een logische gedachte die op kan komen is dat dit door uiteenlopende woningtypes kan worden verklaard. In tabel 11 zijn voor de vijf in de enquête onderscheiden woningtypes de aantallen per woningtype weergegeven en is het gemiddelde gasverbruik per type bepaald. Opvallend is dat de gemiddelde verbruiken per type goed overeenkomen met de verwachting voor het betreffende type woning (dus gasverbruik vrijstaand > 2-onder-1-kap > hoekwoning > rijtjeswoning > appartement), maar dat de spreiding tussen de woningen binnen een type weer met factoren (3-10) kan verschillen. De uitgesproken pieken die in de verdeling zichtbaar zijn, zijn daarmee zeker niet een-op-een naar de verschillende woningtypes terug te leiden. Tevens zijn in de tabel de jaargemiddelde stroomverbruiken opgenomen. Naast de verbruiken opgesplitst naar woningtype is ook het over alle woningen bepaalde gemiddelde opgenomen waarbij de 10% uitschieters naar boven en beneden zijn verwijderd. Het zo verkregen 'overall' gas- en stroomverbruik hoeft dus niet perse voor dezelfde groep woningen te zijn bepaald.



Figuur 4 Verdeling van het gecorrigeerde jaarlijkse gasverbruik in de 129 CV-gas-woningen. Het gasverbruik is met intervallen van 100 m^3 in klassen verdeeld en langs de x-as weergegeven. Langs de y-as staat het aantal CV-woningen per klasse.

Tabel 13 Gemiddeld gas- en stroomverbruik voor de gaswoningen per type

type woning	**aantal (-)**	**jaargasgebruik (m^3/jaar)**	**stroomverbruik (kWh/jaar)**
etagewoning	26	1040 m^3	3.260 kWh
rijtjeswoning	32	1150 m^3	2.960 kWh
hoekwoning	13	1410 m^3	3.600 kWh
2 onder 1 kap	32	1550 m^3	3.940 kWh
vrijstaand huis	27	1710 m^3	3.890 kWh
overall (-min max)	'103'	1304 m^3	3.380 kWh

In tabel 12 zijn voor de vijf in de enquête onderscheiden woningtypes de aantallen per woningtype weergegeven en is het gemiddelde WP-stroomverbruik per type bepaald. Opnieuw is opvallend dat de gemiddelde verbruiken per type de verwachte trend volgen voor het betreffende type woning (dus stroomverbruik vrijstaand > 2-onder-1-kap > hoekwoning > rijtjeswoning > appartement), al is het WP-stroomverbruik voor de vrijstaande woningen wel extreem hoog. De spreiding tussen de woningen binnen een type is eveneens fors.

Tabel 14 Gemiddeld stroomverbruik van de WP-installatie voor de WP-woningen per type

type woning	**aantal (-)**	**jaarlijks E-gebruik WP (kWh/maand)**	**Jaarlijks overig E-verbruik (kWh/jaar)**
etagewoning	5	3107 kWh	3.316 kWh
rijtjeswoning	45	3554 kWh	3.316 kWh
hoekwoning	21	4699 kWh	3.316 kWh
2 onder 1 kap	34	5145 kWh	3.316 kWh
vrijstaand huis	13	7940 kWh	3.316 kWh
overall	'118'	4743 kWh	3.316 kWh

Tenslotte is de overeenkomst treffend tussen de beide trends in het gas- en stroomverbruik over de vijf woningtypes. Ondanks de soms beperkte aantallen per type woning is door eenvoudige middeling de grote spreiding die zichtbaar was in de directe weergave van de enquêteresultaten een heldere en redelijk verklaarbare trend verkregen voor beide type woningen.

Met de twee bovenstaande tabellen die uit de analyse van de enquêtegegevens zijn verkregen is het mogelijk om de exploitatiekosten van de verwarmingsystemen direct met elkaar te vergelijken. Er is gerekend met een 'all-in' consumentengasprijs van 0,60 €/m^3 en een 'all-in' consumentenstroomprijs van 0,24 €/kWh. De aangenomen elektrische hulpenergie voor de CV bedraagt 220 kWh. Op deze eenvoudige berekeningen is mogelijk veel af te dingen (kosten bronwarmtevoorziening WP, jaarlijks vastrecht gasaansluiting, inzet dubbeltarief, een mogelijk verschil in onderhoudskosten, waardering koude, hulpenergie CV-ketel), maar op de etagewoningen na blijkt dat de jaarlijkse energieverbruikskosten voor de warmtepompen echt aanzienlijk (=25-50%) hoger zijn dan de vergelijkbare kosten voor een CV-gas-woning. Deze ruime marge leidt tot een solide conclusie.

Tabel 15 Vergelijk van exploitatiekosten

type woning	**jaargas gebruik (m^3/jaar)**	**'overig' stroomverb (kWh/jaar)**		**netto WP verbruik (kWh/jaar)**	**kosten CV-gas (EURO/jaar)**	**kosten E-WP (EURO/jaar)**	**D(CV-WP) ÷ kostCV (%)**
etagewoning	1040 m^3	3.260 kWh		3107 kWh	677	746	10%
rijtjeswoning	1150 m^3	2.960 kWh		3554 kWh	743	853	15%
hoekwoning	1410 m^3	3.600 kWh		4699 kWh	899	1.128	25%
2 onder 1 kap	1550 m^3	3.940 kWh		5145 kWh	983	1.234	25%
vrijstaand huis	1710 m^3	3.890 kWh		7940 kWh	1 079	1.902	76%
overall 'mima'	1304 m^3	3.380 kWh		4743 kWh	835	1.138	36%

In de lezenswaardige opmerkingen van de WP-woningbewoners in de enquête rond de beleving, verwachting en waardering van de warmtepompsystemen kwamen geregeld de kosten naar voren die de exploitatiemaatschappij van het bronwarmtesysteem in rekening brengt. Deze kosten van ± EUR 600,-- per jaar kunnen aan de jaarlijkse energiekosten worden toegevoegd (voor die woningen die aan een collectief systeem gekoppeld zijn), maar dan moeten de kosten voor het bronsysteem wel uit het investeringsdeel van de complete kostenvergelijking worden verwijderd.

In de uitgevoerde model-exploitatiekostenvergelijking was voor de moderne woning een totaal gasverbruik van 1377 m^3 gas berekend. Dit verbruik komt redelijk goed overeen met het gemiddelde gasverbruik zoals dat in de enquête voor een reeks moderne woningen in de praktijk is vastgesteld (zeker als de portiekwoningen, waar je toch veel slimmer met collectieve systemen kunt werken, uit de vergelijking worden verwijderd). Het stroomverbruik van de warmtepompen daarentegen ligt met gemiddeld 4.700 kWh ruim boven de berekende 3.200 kWh. Het is (gemiddeld!!) nog niet zo dramatisch als in de gaslobby variant was

aangenomen, maar duidelijk is dat de WP energetisch niet zo goed gepresteerd heeft als vooraf had mogen worden aangenomen. Het is niet duidelijk of de oorzaak hiervoor ligt in een matig ontworpen of ingeregelde installatie, of in ongunstig bewonergedrag, maar de beoogde energiebesparing of verduurzamingslag wordt hiermee niet bereikt.

De door overheden verstrekte subsidies op warmtepompsystemen, die de warmtepomp voor de bewoner ook een financieel aantrekkelijke optie maken bij goed functioneren, worden met dergelijke systemen niet nuttig besteed. Het systeem maakt de beloofde besparing en verduurzaming niet waar, terwijl de bewoner met hogere energieverbruikkosten wordt geconfronteerd.

5 CONCLUSIE

In Nederland worden in nieuwe en bestaande woonwijken steeds vaker elektrische warmtepompen (WP) toegepast, omdat dit een positief effect heeft op de energieprestatie-coëfficient van een woning. Een woonwijk met elektrische warmtepompen belast het elektriciteitsnet zwaarder dan een vergelijkbare wijk met conventionele gasgestookte CV-ketels. De belasting van de distributietransformator wordt ruim verdubbeld als alle huizen in een wijk een WP hebben. Als de WP's gebruik maken van elektrische bijverwarming, kan de belasting nog een factor 2 hoger uitvallen vanwege de hoge gelijktijdigheidfactor.

KEMA heeft in opdracht van Alliander een tweetal case studies geanalyseerd: de nieuwbouwwijken De Teuge in Zutphen en Aqua Vicus in Alphen aan den Rijn. Onderzoeksonderwerpen hierbij zijn: technische dimensionering en investeringskosten van het elektriciteitsnet volgens het ontwerp van Alliander, analyse van de capaciteit van het elektriciteitsnet aan de hand van meetgegevens uit de praktijk, investerings- en exploitatiekosten van de warmtepomp in vergelijking met de HR-CV-ketel (theoretische vergelijking en cijfers uit de enquête van Millward Brown).

De cijfers uit de vergelijkingen zijn weergegeven in de tabellen 16 en 17.

Tabel 16 Investeringskostenvergelijking van elektriciteitsnet met en zonder warmtepompen.

	vermogen (kVA)		vermogen, relatief		kosten (EUR)		kosten, relatief	
	Zutphen	Alphen	Zutphen	Alphen	Zutphen	Alphen	Zutphen	Alphen
basisnet zonder WP	300	170	100%	100%	77.000	141.000	100%	100%
WP-net excl. bijverw.	720	470	**240%**	**280%**	150.000	171.000	**200%**	**120%**
WP-net incl. bijverw.	1.710	880	**570%**	**520%**	215.000	248.000	**280%**	**180%**

Tabel 17 Kostenvergelijking van warmtepompen en HR-CV-ketels.

EURO	CV, neutraal	WP, neutraal	CV, WP-lobby	WP, WP-lobby	CV, gaslobby	WP, gaslobby	CV, enquete	WP, enquete
investering	7.700	15.900	13.200	15.900	7.100	15.900	-	-
investering, jaarkosten	530	1.100	1.000	1.100	500	1.100	-	-
exploitatie, per jaar	1.000	970	1.300	1.100	860	1.900	1.095 835*	**1.342 1.102*
WP vs. CV, inv. + expl.		**135%**		**96%**		**221%**		
alleen expl.		**97%**		**85%**		**221%**		**123%** **132%***

* Alleen meterstand.

** Veel respondenten maakten melding van een extra kostenpost à EUR 480,-- p.j. voor de bronwarmte.

De conclusies uit deze case studies zijn:

Ten aanzien van het elektriciteitsnet:

- het is nog onduidelijk of het voor de dimensionering van het elektriciteitsnet in de woonwijk noodzakelijk is om uit te gaan van de maximale vraag van de WP's, inclusief elektrische bijverwarming, met een gelijktijdigheid van 1. In sommige typen warmtepompen doet de bijverwarming niet mee aan de automatische WP-regeling, maar is het alleen een noodvoorziening voor het individuele huis. Voor de gelijktijdigheids-berekening zou deze dan misschien niet meegeteld hoeven te worden. Voor de maximale belasting van de wijktransformator maakt het niet heel veel uit of de gelijktijdigheid van de warmtepompen op 1 of op 0,7 gezet wordt (deze laatste waarde komt uit de dimensionering van gasnetten)
- de meerkosten van het netwerk dat in Alphen is gerealiseerd t.o.v. het basisontwerp zijn ruim de helft van de oorspronkelijke netwerkkosten
- de meerkosten in Zutphen zijn bijna het dubbele van de oorspronkelijke netwerkkosten. Dit betekent dus bijna een verdrievoudiging van de netwerkkosten voor de integratie van warmtepompen t.o.v. het basisontwerp
- het net in Alphen is *niet* op de piekvraag van de WP's uitgelegd, het net in Zutphen wel. Een berekening voor Alphen met de piekvraag van de WP's levert meerkosten op van bijna 100%
- de kabels in Aqua Vicus zijn gedimensioneerd volgens de basisberekening zonder WP's. Een berekening met WP's, met een lage gelijktijdigheid, gaf dezelfde kabeldimensies. Omdat derhalve geen rekening is gehouden met een gelijktijdigheid van 1, is te verwachten dat bij extreme koude, als vrijwel alle WP's met hun bijverwarming aan staan, enkele van de kabels in Aqua Vicus overbelast zullen raken
- een kostenvergelijking van de situatie in Zutphen laat zien dat de investeringskosten voor een verzwaard E-net (all-electric) ruwweg het dubbele van de kosten voor het basis-E-net met een gasnet zijn. Analyse van andere wijken moet aantonen of dit een meer algemeen geldende uitkomst is
- door de inpassing van elektrische warmtepompen kan behalve het LS-net ook de capaciteit van het middenspanningsnet eerder dan verwacht bereikt worden, waardoor extra voorzieningen benodigd zijn, die extra kosten met zich meebrengen. Dit geval deed zich voor in Zutphen t.b.v. de nieuwbouwwijk De Teuge, waar een nieuwe MS-aansluiting op een onderstation gerealiseerd moest worden met een investering van ruim een half miljoen euro.

Ten aanzien van de elektrische warmtepompen:

- de investeringskosten voor een complete warmtepompinstallatie zijn op dit moment zeker het dubbele van de kosten voor een CV-gas-installatie. Met subsidies van rijks- en lokale overheden kan dit verschil (deels) worden weggenomen, zeker wanneer de koudelevering en EPC-maatregelen in de vergelijking worden meegenomen
- de exploitatiekosten van een WP en een CV liggen ongeveer in dezelfde orde van grootte, onder voorwaarde van een goede installatie van zowel de WP als de CV
- de vergelijking van de investerings- en exploitatiekosten van een WP-installatie met CV-gas kan met verschillende (op zich redelijke) aannames compleet naar een van beide kanten getrokken worden. Met een goed functionerende warmtepomp en het betrekken van comfortkoeling in de vergelijking komt de WP als aantrekkelijk uit de bus. Zonder waardering van koude en onder aanname van een minder goed functionerende warmtepomp scoort de HR-CV juist beduidend beter. Het is daarom sterk van de omstandigheden afhankelijk of een warmtepompinstallatie financieel aantrekkelijk is of niet
- de warmtepompen uit de referentiewijken gebruikten gemiddeld 4833 kWh/jaar. Deze meterstanden en de bevindingen uit de uitgevoerde enquête laten zien dat de WP-installaties niet optimaal functioneren en helaas de beloftes niet kunnen waarmaken. Dit verklaart waarom sommige mensen ontevreden zijn met hun warmtepomp en/of veel hogere kosten hebben dan verwacht.

BIJLAGE A GEGEVENS VAN DE GEPLAATSTE WARMTEPOMPEN

Tabel 18 Gegevens van de geplaatste warmtepompen in De Teuge, Zutphen

	Inventum Energion 6 kW	Vaillant Type 6 kW	Stiebel-Eltron WPC-C 5
compressor_output_max [kWth]	6,9	6,9	5,8
compressorvermogen_max [kWe]	2,1	2,1	2,25
compressorvermogen_max [kVA]	2,3	2,3	2,5
bijverwarming_max [kWe]	4	4	8,8*
WP-vermogen_max [kVA]	6,3	6,3	11,3
aantal in De Teuge	114	30	40
maximale vermogensvraag van alle WP's met bijverwarming: 1364 kVA maximale vermogensvraag van alle WP's zonder bijverwarming: 436 kVA			

* Geïnstalleerd is 8,8 kW, maar bij metingen achteraf (2009-2010) door Liandon bleek dat dit niet is aangesloten in de Stiebel-Eltron-WP's in De Teuge[7].

Tabel 19 Gegevens van de geplaatste warmtepompen in Aqua Vicus, Alphen aan den Rijn

	Vaillant VWS NL 6	Vaillant VWS NL 8	Vaillant VWS NL 10
compresor_output_max [kWth]	6,9	9,3	10,4
compressorvermogen_max [kWe]	2,1	2,9	3,3
compressorvermogen_max [kVA]	2,3	3,2	3,7
bijverwarming_max [kWe]	4	4	4
WP-vermogen_max [kVA]	6,3	7,2	7,7
aantal in Aqua Vicus	44	51	9
maximale vermogensvraag van alle WP's met bijverwarming: 716 kVA maximale vermogensvraag van alle WP's zonder bijverwarming: 300 kVA			

[7] E-mail Van: Gijs van Heijster, Verzonden: 10 dec. 2009 14:15, Aan: Peter van Voorst, Onderwerp: rapport KEMA (Doorgestuurd door Peter van Voorst aan Jos van der Burgt d.d. 14 dec. 2009 12:28)