

TECHNOLOGISCH RAAMWERK VOOR EEN OPTIMALE ENERGIE-INFRASTRUCTUUR

Energievoorziening in het land over de Waal,
Nijmegen

M. Beeldman
J.M. Bais
M. Menkveld

Verantwoording

In opdracht van de gemeente Nijmegen is een studie verricht ter onderbouwing van de bestuurlijke besluitvorming over de aan te leggen infrastructuur in het Land over de Waal. De opdracht is uitgevoerd in nauw overleg met de gemeente en de betrokken distributiebedrijven, NUON en GGR-gas. Het project staat bij ECN geregistreerd onder nummer 7.7070.

Abstract

Different options are described for energy infrastructure in the area 'Land over de Waal', an area near the city of Nijmegen. In this area 11,200 new houses are to be built. The aim of ECN is meant to assist in the political decision making process. Five options have been compared with a reference technology. The reference technology is a high efficiency boiler. The options are respectively a gas engine with heat distribution, an individual electrical heat-pump with a gas burner for peak supply, an individual electrical heatpump with electricity for peak supply, an electrical heat-pump with heat distribution and a natural gas fired heat-pump with heat distribution. It is not necessarily so that one of these options is applied in the 'Land over de Waal'. In this phase of decision making it is important to have an idea of the possible savings.

The options have been compared with each other by means of a tool developed by ECN. This tool is called the technological framework. In this framework different options can be compared on the aspects of primary energy use, CO₂ emissions and acidifying emissions. Furthermore costs are calculated, both for the households as well as for the distribution company. An important parameter in these calculations is the reference system to be used for determining the characteristics of electricity. The reference system for options producing electricity is a modern gas fired power station and for options consuming electricity is the average from the Dutch national electricity system over the next fifteen years (the average lifetime of the options).

The calculations show that all options save energy, but that the amount of savings is very dependent of the characteristics of the installations and the way of dimensioning the system. It is therefore impossible to appoint one option as the best for the complete area. On top of this one must realize that the technological progress in the years to come means that the choice for one option as optimal can also change. The results also show that the options described all are more expensive than the reference system. These calculations do not include eventual investment subsidies or other financial arrangements. It is not clear yet whether these arrangements can cover the total extra costs. If not, it needs to be determined which way the extra costs are divided between households, the community of Nijmegen and the distribution companies.

Based on this study it has become clear that at this moment the community council should not make the choice for one option for the total area, but that the choice is made at the right time based on the right information. This means that at the moment that a decision is necessary for a certain part of the 'Land over de Waal', the community council organises a tender for distribution companies. In this tender the council states demands for energy savings and environmental benefits under conditions

regarding costs, reliability, flexibility, etc. The distribution company with the best offer is the one to establish the energy supply system.

INHOUD

SAMENVATTING	7
1. INLEIDING	11
2. METHODIEK EN UITGANGSPUNTEN	13
2.1 Beschrijving opties	13
2.2 Structuur technologies raamwerk	14
2.3 Uitgangspunten	15
2.3.1 Uitgangspunten	15
2.3.2 Waardering elektriciteit	16
3. RESULTATEN TECHNOLOGISCH RAAMWERK	19
3.1 Berekeningsresultaten voor zes opties	19
3.1.1 Resultaten bij parkgemiddeld rendement over 15 jaar	19
3.2 Gevoeligheidsanalyses	22
3.2.1 Volledige warmtevraagdekking door warmtepomp	22
3.2.2 Warmtepomp met hogere COP	22
3.2.3 Zonneboiler en/of vraagbeperking	23
3.3 Conclusies	24
4.1 Toekomstwaarde	25
4.2 Liberalisering van energiemarkten	27
4.3 Bewonersacceptatie	27
5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	31
BIJLAGE A. OVERZICHT INPUTGEGEVENS	33
BIJLAGE B. BEREKENINGSMETHODE	35
BIJLAGE C. ACHTERGRONDINFORMATIE	39

SAMENVATTING

De komende jaren vindt er in het Land over de Waal woningbouw plaats van in totaal circa 11.200 woningen. In 1997 wordt er begonnen met nieuwbouw in de buurt Visveld-Oost (onderdeel van Stadseiland); in 1998 wordt een aanvang gemaakt met woonpark Oosterhout. Er dienen nu keuzes gemaakt te worden ter invulling van de energievoorziening in het Land over de Waal. In dit stadium geldt dit met name met betrekking tot keuzes voor energie-infrastructuur. De diverse studies, die reeds voor dit gebied zijn gedaan, hebben nog niet kunnen leiden tot bestuurlijke besluitvorming. ECN is gevraagd de consequenties van de keuzes voor verschillende energie-infrastructuren bestuurlijk inzichtelijk te maken, zodat besluitvorming wordt vereenvoudigd. Tijdens deze studie heeft vooral het proces van besluitvorming concrete vorm gekregen en is er voor gekozen om de uiteindelijke keuze voor (een) bepaalde optie(s) te baseren op concrete voorstellen van distributiebedrijven. Deze voorstellen kunnen worden ingediend in het kader van door de gemeente op te stellen tender-regelingen.

Om de voor- en nadelen van de verschillende alternatieven duidelijk te maken zijn deze allen vergeleken met een zogenaamde referentiecasse. In deze studie is als referentiecasse gehanteerd een HR-combiketel voor ruimteverwarming en warm tapwater, koken op gas en inkoop van elektriciteit uit het openbare net.

De volgende opties zijn tegen de referentie-installatie afgezet. De eerste optie is kleinschalige warmte/kracht met een gasmotor en levering van warmte via een warmtenet aan de woningen. Vervolgens is een aantal opties doorgerekend met de elektrische warmtepomp. Allereerst is er gekeken naar de situatie met een individuele elektrische warmtepomp in iedere woning. Het is gebruikelijk om in deze situatie een bijstook warmtevoorziening te hebben voor de piekvraag. Deze bijstook kan gebruik maken van gas of elektriciteit. Zowel de optie met gas als die met elektriciteit is hiervoor doorgerekend. De volgende optie die is doorgerekend is een collectieve elektrische warmtepomp. Dit is een warmtepomp, die de warmte centraal in de wijk produceert en waarbij de warmte via een warmtenet in de woningen komt. De laatste optie is een collectieve warmtepomp op aardgas. Ook deze warmtepomp produceert de warmte centraal binnen de wijk, waarna de warmte via een warmtenet aan de woningen wordt geleverd.

Voor de nuttige vraag naar ruimteverwarming is uitgegaan van een woning, waarin een EPN van 1,0 wordt bereikt zonder besparende conversie-installaties (EPN-casco 1,0). De extra besparingen van deze conversie-installaties (waaronder ook duurzame technieken) zijn in dit rapport dus berekend ten opzichte van deze EPN-casco woning van 1,0. Voor de vraag voor warm tapwater en koken is uitgegaan van landelijke gemiddelden. Met een door ECN ontwikkeld technologisch raamwerk is berekend hoeveel primaire energie nodig is voor ieder van deze opties om in de warmtevraag te voorzien. Ook is berekend hoeveel emissies dit veroorzaakt, hoeveel dit jaarlijks kost en welk gedeelte van die kosten betaald wordt door de bewoner.

De kosten voor de bewoner zijn hierbij gebaseerd op huidige landelijk gemiddelde tarieven voor de verschillende energiedragers. Alleen voor warmtelevering is uitgegaan van een lokale invulling van het niet meer dan anders principe.

De totale kosten zijn gebaseerd op de kosten van installaties, infrastructuur en inkoop van aardgas/elektriciteit bij de productiebedrijven/Gasunie. De totale kosten zijn dus onafhankelijk van de door de bewoner betaalde tarieven. Het verschil tussen deze kosten en de kosten voor de bewoner bepalen de kosten/opbrengsten voor het distributiebedrijf

De berekeningen geven aan dat alle onderzochte opties energie besparen ten opzichte van de referentiesituatie. Voor de elektrische warmtepomp blijkt de manier van uitvoering belangrijk voor de besparing. In het geval van gasbijstook of in het geval van collectieve warmtelevering wordt duidelijk meer bespaard dan in het geval van elektriciteitsbijstook.

Op het gebied van CO₂ scoren de opties die aardgas als input gebruiken (HR-ketel, gasmotor en de aardgaswarmtepomp) wat beter dan de opties die elektriciteit als input gebruiken. Elektriciteit in Nederland heeft per hoeveelheid primaire energie namelijk een hogere CO₂-uitstoot dan aardgas. Dit komt doordat elektriciteit niet alleen met aardgas maar ook gedeeltelijk met kolen wordt opgewekt. Zonder kolen in de centrale elektriciteitsproductie zou de procentuele CO₂-reductie ongeveer gelijk zijn aan die van de primaire energiebesparing.

De verzurende emissies nemen in alle opties in meerdere of mindere mate toe. Ook dit heeft vooral te maken met het gebruik van elektriciteit en de manier waarop deze elektriciteit wordt opgewekt. Hierbij dient echter de kanttekening te worden gemaakt, dat hoewel het zeker niet verwaarloosd mag worden, het aandeel van de huishoudelijke sector in de landelijke verzurende emissies toch duidelijk kleiner is dan in de CO₂-emissie (4% versus 18%).

De effecten op energiebesparing en milieu van de elektrische warmtepomp zijn zeer gevoelig voor de manier waarop de gebruikte elektriciteit wordt opgewekt. In de toekomst zal door steeds schonere opwekking van elektriciteit de elektrische warmtepomp steeds milieuvriendelijker worden. In de berekeningen zoals die op pagina 4 worden gepresenteerd is aangenomen dat de elektriciteit voor de warmtepompen niet perse komt uit nieuwe centrales maar uit een gemiddelde centrale in Nederland. Als zou worden aangenomen dat deze elektriciteit uit nieuwe centrales komt, dan zouden de energiebesparing en emissies van warmtepompen nog beter worden.

De kosten blijken voor alle opties hoger te liggen dan in de referentie-situatie. Als deze hogere kosten niet worden gecompenseerd door bijvoorbeeld subsidies, fiscale regelingen of andere tariefstellingen zullen deze hogere kosten gedeeld moeten worden door bewoners, distributiebedrijf en/of gemeente. De gemeente dient te bepalen of, en zo ja hoeveel van deze kosten aan de bewoner mogen worden doorberekend als prijs voor de energiebesparing en hoeveel zij zelf eventueel wil bijdragen. Het zal duidelijk zijn, dat hoe groter het deel van de extra kosten is, dat bij de distributiebedrijven wordt neergelegd, des te minder aantrekkelijk en kleiner de kans dat het distributiebedrijf het project gaat uitvoeren.

Het voorgaande maakt duidelijk dat er op korte termijn nog niet een duidelijk winnende optie valt aan te wijzen. Ook zijn er nog andere mogelijkheden voor energiebesparing zoals zonneboilers, extra isolatie en micro-warmte/kracht. De apparaatkenmerken, de dimensionering en lokale omstandigheden en inzichten kunnen er toe leiden, dat op verschillende lokaties andere optimale keuzes gelden. Ook kunnen de optimale

keuzes in de loop van de tijd veranderen. Voor een gemeente betekent dit dat het moeilijk, zo niet onmogelijk is, om zelf de beste invulling van de energievoorziening te formuleren en gerealiseerd te krijgen. De gemeente kan zich beter richten op het formuleren van lokale energiedoelstellingen onder een aantal randvoorwaarden. De invulling en realisering kunnen vervolgens worden neergelegd bij de partijen, die daarvoor de meeste expertise bezitten, de energiedistributie-bedrijven. Hiertoe zouden distributiebedrijven voorstellen kunnen doen voor invulling van de energievoorziening, die door de gemeente, ontwikkelaars, corporaties, huurders en kopers beoordeeld worden op bovengenoemde criteria, maar ook op zaken als toekomstwaarde en betrouwbaarheid. Het advies richting de gemeente is dan ook de keuze voor (een) bepaalde optie(s) nu nog niet te doen, maar te baseren op de hiervoor beschreven voorstellen van de distributiesector. Deze voorstellen dienen te worden ingediend, zodra voor een bepaalde deellokatie beslissingen t.a.v. infrastructuur aan de orde zijn.

1. INLEIDING

De komende jaren vindt er in het Land over de Waal woningbouw plaats van in totaal 11.200 woningen. In 1997 wordt er begonnen met nieuwbouw in de buurt Visveld-Oost, in 1998 wordt een aanvang gemaakt met woonpark Oosterhout. De gemeente dient nu zijn standpunt te bepalen ten aanzien van de energievoorziening in het Land over de Waal. In dit stadium geldt dit met name met betrekking tot keuzes voor energie-infrastructuur. De diverse studies, die reeds voor dit gebied zijn gedaan, hebben nog niet kunnen leiden tot bestuurlijke besluitvorming. ECN is gevraagd de consequenties van de keuzes voor verschillende energie-infrastructuren bestuurlijk inzichtelijk te maken, zodat besluitvorming vereenvoudigd wordt. Deze besluitvorming is niet gericht op de keuze voor een bepaalde technologie, maar richt zich meer op het formuleren van eisen en wensen, waar de voorziening vanuit de ogen van de gemeente aan dient te voldoen. Het is vervolgens aan de diverse distributiebedrijven om die technologie(ën) te kiezen, die het beste invulling geven aan dit pakket van eisen en wensen.

De eisen/wensen van de gemeente ten aanzien van de energievoorziening zijn zowel kwalitatief als kwantitatief van aard. De kwantitatieve zaken hebben betrekking op energiegebruik, emissies en kosten. Hierbij kan de gemeente bepalen in hoeverre invulling gegeven wordt aan bepaalde milieudoelstellingen en of doelen gehaald worden. Kwalitatief gaat het meer om zaken als de toekomstwaarde van de infrastructuur, de betrouwbaarheid van de technologie, het imago en de innovatieve aspecten. Om de distributiebedrijven richtlijnen te geven voor de te bereiken kwantitatieve resultaten is onderzocht welke mate van besparing mogelijk is door infrastructurele keuzes in het Land over de Waal tegen welke kosten. Hoofdstuk 2 beschrijft de gevolgde methodiek en de uitgangspunten. Hoofdstuk 3 toont de kwantitatieve resultaten zoals die zijn verkregen met het technologisch raamwerk. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de kwalitatieve aspecten van de energievoorziening. Hoofdstuk 5 eindigt met enkele conclusies en aanbevelingen.

2. METHODIEK EN UITGANGSPUNTEN

De verschillende alternatieven voor infrastructuur en bijbehorende technologie hebben ieder hun eigen consequenties op energie-, milieu en kostengebied. Om gevoel te krijgen voor de mogelijke besparingen en de bijbehorende kosten is een zestal opties doorgerekend. Paragraaf 2.1 geeft een beschrijving van deze opties. De opties zijn opgesteld in overleg met de gemeente en de betrokken distributiebedrijven, NUON en GGR. Het is overigens niet noodzakelijkerwijs zo, dat de uiteindelijke infrastructuur gebaseerd is op één van deze opties. Zoals reeds vermeld, gaat het er in dit stadium om indicaties te verkrijgen van mogelijke besparingen en bijbehorende kosten. De uiteindelijke voorstellen van distributiebedrijven bepalen uit welke opties daadwerkelijk gekozen kan worden. Voor de berekeningen aan de verschillende opties heeft ECN een technologisch raamwerk beschikbaar. Paragraaf 2.2 gaat kort in op de structuur van dit raamwerk. De te hanteren uitgangspunten en de manier van berekening hebben een grote invloed op de uitkomsten van besparings- en kostenberekeningen. Het is moeilijk, zo niet onmogelijk om één juiste manier van berekenen te definiëren. Dit hangt ondermeer af van de visie en opvattingen van de besluitvormer. Het is echter zeer belangrijk om de gekozen uitgangspunten consequent te hanteren voor alle door te rekenen opties. In paragraaf 2.3 wordt stilgestaan bij de in dit onderzoek gekozen uitgangspunten. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de rekenresultaten.

2.1 Beschrijving opties

In deze studie is als referentie gehanteerd een HR-combiketel voor ruimteverwarming en warm tapwater, koken op gas en inkoop van elektriciteit uit het openbare net. De referentie wordt in het vervolg van dit rapport aangeduid met optie 1.

Met deze referentie is een aantal opties vergeleken. De eerste optie is kleinschalige warmte/kracht met een gasmotor en levering van warmte via een warmtenet aan de woningen. Vervolgens is een aantal opties doorgerekend met de elektrische warmtepomp. Allereerst is er gekeken naar de situatie met een individuele elektrische warmtepomp in iedere woning. Het is gebruikelijk om in deze situatie een bijstook warmtevoorziening te hebben voor de piekvraag. Deze bijstook kan gebruik maken van gas of elektriciteit. Zowel de optie met gas als die met elektriciteit is hiervoor doorgerekend. De volgende optie die is doorgerekend is een collectieve elektrische warmtepomp. Dit is een warmtepomp, die de warmte centraal in de wijk produceert en waarbij de warmte via een warmtenet in de woningen komt. De laatste optie is een collectieve warmtepomp op aardgas. Ook deze warmtepomp produceert de warmte centraal binnen de wijk, waarna de warmte via een warmtenet aan de woningen wordt geleverd.

Dit levert de volgende opties op (EWP= elektrische warmtepomp):

- 1) Referentie
- 2) Gasmotor met warmtedistributie Hulpwarmtekotel
- 3) EWP voor warm tapwater EWP voor ruimteverwarming, bijstook gas
- 4) EWP voor warm tapwater EWP voor ruimteverwarming, bijstook elektrisch
- 5) EWP voor warm tapwater EWP met warmtedist., bijstook hulpwarmtekotel
- 6) Aardgas warmtepomp met warmtedistributie, bijstook hulpwarmtekotel

Bij alle opties wordt er elektrisch gekookt, behalve bij optie 3, waar op gas wordt gekookt. Voor de opties met elektrische warmtepomp is een lage temperatuur CV-systeem verondersteld (60°C/40°C), voor de andere opties de standaard CV-systemen (90°C/70°C). De waarden en invoergegevens voor de berekeningen zijn afgestemd met de gemeente Nijmegen, NUON en GGR.

2.2 Structuur technologies raamwerk

In het technologisch raamwerk worden de verschillende mogelijkheden om in de huishoudelijke energievraag te voorzien vergeleken op het gebied van energiebesparing, milieubelasting en kosten (voor een uitgebreidere beschrijving zie bijlage b). De huishoudelijke energievraag is ondergebracht in 4 categorieën, te weten ruimteverwarming, warm tapwater, koken en overige elektriciteit. De verschillende opties worden gekarakteriseerd door hun systeem voor ruimteverwarming en warm tapwater. Het systeem voor koken hangt vervolgens af van het feit of er ten behoeve van de systemen voor ruimteverwarming/tapwater een gasaansluiting nodig is. Indien dit zo is wordt koken op gas verondersteld, anders koken op elektriciteit. Voor de vraag naar overige elektriciteitstoepassingen wordt zondermeer een elektriciteitsinfrastructuur verondersteld.

Op basis van de gekozen apparaten wordt eerst de vraag naar energiedragers op woningniveau bepaald (aardgas, elektriciteit, warmte). Vervolgens wordt met behulp van transportverliezen de vraag aan de ingang van de wijk bepaald. Indien sprake is van collectieve warmtelevering wordt deze aan de ingang van de wijk geproduceerd (eventueel gepaard gaand met elektriciteitsproductie). Uiteindelijk gaat er alleen elektriciteit en/of aardgas de wijk in en eventueel elektriciteit de wijk uit. Op basis van de hoeveelheden aardgas/elektriciteit die de wijk in/uit gaan kan het energie/milieu-effect bepaald worden. Hierbij dient voor elektriciteit het referentiesysteem gekozen te worden om de karakteristieken van elektriciteit te bepalen (in termen van primaire energie en emissies) die de wijk in komt/wijk uitgaat.

Op basis van de gekozen apparaten worden de kosten berekend. Aan de hand van de vraag per woning wordt tevens bepaald welke infrastructuur nodig is en wat hiervan de kosten zijn. Bij de weergave van de kosten is er een splitsing gemaakt tussen kosten voor de gebruiker en kosten voor het distributiebedrijf. Hierbij worden de kosten van de infrastructuur en de kosten van energiedragers die de wijk binnenkomen toegerekend aan het distributiebedrijf. Bovendien worden de kosten van installaties die voorzien in collectieve warmtelevering ook toegerekend aan het distributiebedrijf. Apparaten voor individuele warmtelevering en de kosten voor warmtevraagbepalende maatregelen komen voor rekening van de gebruiker. Bovendien betaalt de gebruiker de reguliere tarieven voor aardgas/elektriciteit en warmte. De betaalde tarieven gelden weer als opbrengst voor het distributiebedrijf.

2.3 Uitgangspunten

Bij de vergelijking van de verschillende opties zijn de te hanteren uitgangspunten zeer belangrijk voor de uiteindelijke resultaten. De technische uitgangspunten voor de verschillende installaties om in de warmtevraag te voorzien zijn opgenomen in de bijlage. In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de aannames met betrekking tot de warmtevraag. Ook worden wat algemene uitgangspunten ten aanzien van kosten besproken.

Een punt dat aparte aandacht verdient is de waardering van elektriciteit. Dit is nodig, omdat elektriciteit een secundaire energiedrager is. Dit betekent dat elektriciteit wordt opgewekt uit andere energiedragers. De energiedrager die hiervoor gebruikt wordt, bepaalt in sterke mate hoe schoon de elektriciteit is. Ook als binnen het Land over de Waal elektriciteit geproduceerd zou worden, die naar buiten het gebied wordt getransporteerd dient hier een waardering aan gegeven te worden. Beide aspecten van de waardering van elektriciteit worden besproken in paragraaf 2.3.2.

2.3.1 Uitgangspunten

De energievraag is ondergebracht in vier categorieën, ruimteverwarming, warm tapwater, koken en overige elektriciteit. In het technologisch raamwerk wordt gerekend met een zogenaamde nuttige vraag. Deze nuttige vraag duidt er voor ruimteverwarming, warm tapwater en koken op hoeveel warmte de bewoner in de woning nodig heeft. In de verschillende opties wordt vervolgens aan de hand van de eigenschappen van installaties om warmte te maken bekeken, welke energiedragers daarvoor nodig zijn en hoeveel energie benodigd is.

Voor de nuttige vraag naar ruimteverwarming is uitgegaan van een woning met een energieprestatie van het casco van 1.0. Dit betekent dat de woning voldoet aan een EPN van 1,0 in het geval, dat voor de ruimteverwarming en warm tapwatervoorziening een HR-combiketel zou worden gebruikt. Voor de vraag van de overige categorieën is uitgegaan van landelijke gemiddelden. Dit leidt tot een energievraag in de woning voor:

- ruimteverwarming	16 GJ
- warm tapwater	8 GJ
- koken	1 GJ
- overige elektriciteit	10 GJ

De vraag naar overige elektriciteit wordt constant verondersteld en niet afhankelijk van de keuze voor infrastructuur en conversie-installatie. In de berekeningen wordt deze in eerste instantie dan ook niet meegenomen. Wel wordt in hoofdstuk 3 aangegeven wat voor invloed het al dan niet meenemen van deze vraag heeft op de resultaten. Alleen als bij de verschillende opties een deel van deze vraag naar overige elektriciteit anders wordt ingevuld (bijvoorbeeld met aardgasdroger, aardgaskoelkast) kan (een gedeelte van) deze vraag niet buiten beschouwing gelaten worden.

Bij de vergelijking van de verschillende opties worden ook de resultaten ten aanzien van jaarlijkse kosten weergegeven. Naast de investeringen die nodig zijn voor de installaties worden deze jaarlijkse kosten ook bepaald door het gehanteerde renteniveau en de levensduur van de installatie.

Voor de rente is een niveau van 5% aangenomen, wat overeenkomt met de reële rente op langere termijn. Zowel voor de aansluitbijdrage als voor de kosten van eventuele extra energievraagbeperkende maatregelen is een levensduur van 15 jaar gehanteerd.

Bij de bepaling van de kosten voor het distributiebedrijf zijn de kosten van aardgas (de inkoopprijs van aardgas bij de Gasunie) en van elektriciteit (inkoopprijs bij EPON of een ander elektriciteitsproduktiebedrijf) van zeer groot belang. Ten aanzien van de inkoopprijs aardgas is een bedrag van 20 cent/m³ gehanteerd, overeenkomend met de prijs voor grootverbruikers. Bij de inkoopprijs voor elektriciteit is een onderscheid gemaakt naar plateau (weekdagen) en dal (nacht en weekend). Voor plateau-kWh's is een gemiddelde prijs van 13,0 cent/kWh verondersteld, voor dal kWh 4,4 cent/kWh.

Voor collectieve warmtelevering zijn de transportverliezen verondersteld op 5 GJ per woning. Bij de bovengenoemde warmtevraag voor ruimteverwarming en warm tapwater komt dat overeen met transportverliezen van circa 16%. Ook bij verdere besparing zijn de transportverliezen gefixeerd op 5 GJ. Dit vanwege het feit, dat deze verliezen niet zozeer worden bepaald door de vraag, maar door het temperatuurverschil tussen de leiding/omgeving en door het oppervlak van de leiding. Alleen bij die opties waar sprake is van lage temperatuur warmtedistributie dalen de verliezen per woning, omdat dan het temperatuurverschil tussen leiding/omgeving afneemt.

2.3.2 Waardering elektriciteit

Voor de bepaling van de energiebesparing en de effecten op emissies wordt berekend hoeveel aardgas en elektriciteit de wijk in komt en hoeveel elektriciteit er eventueel weer uitgaat. Om elektriciteit en aardgas bij elkaar op te kunnen tellen, wordt gerekend in beslag op primaire brandstof. Aardgas is zelf een primaire brandstof dus behoeft geen omrekening. Voor elektriciteit hangen het beslag op primaire brandstof en de milieu-effecten af van de manier waarop deze is opgewekt. Enerzijds speelt hierbij het onderscheid naar energiedrager (aardgas, kolen, kernenergie, olie). Het is echter ook van belang of het met een moderne centrale gebeurt, of met een bestaande centrale die reeds jaren aanwezig is. Het systeem dat gekozen wordt als zijnde het systeem, waarmee de gebruikte elektriciteit wordt opgewekt, wordt in dit rapport aangeduid met referentiesysteem.

De keuze voor een bepaald referentiesysteem is niet zwart-wit. Deze hangt onder meer af van het doel van de vergelijking en van de tijdshorizon waarover men kijkt. Indien het gaat om de mogelijke bijdrage van een optie in de toekomst, dient een andere vergelijkingsbasis te worden gekozen, dan wanneer het gaat om de mogelijke bijdrage op dit moment. Ook is het van belang onderscheid te maken of een optie extra vraag oplevert of juist extra elektriciteit produceert. Er kan dan ook niet volstaan worden met de presentatie van de resultaten op één manier. In dit rapport is in principe de keuze gemaakt om elektriciteitsproduktie-opties te waarderen op basis van elektriciteit uit een moderne centrale op aardgas (STEG) en de elektriciteitsvraagopties te

waarderen op basis van elektriciteit uit het gemiddelde openbare park in Nederland over een genormeerde levensduur.

Elektriciteitsproductie

De gedachte om bij de productie van elektriciteit uit te gaan van een moderne centrale op aardgas (STEG) is gebaseerd op de veronderstelling dat in de toekomst nieuw vermogen zal worden gerealiseerd op basis van de nieuwste technologie. Bij een keuze voor een nieuwe installatie voor elektriciteitsproductie wordt dan eerst impliciet gekozen voor elektriciteitsnieuwbouw, daarna voor wat voor nieuwbouw. Als dus in kaart dient te worden gebracht, wat het voordeel is van de gekozen installatie, moet dit vergeleken worden met een standaard nieuwe installatie (in Nederland een STEG).

Elektriciteitsvraag

Bij de waardering van elektriciteit voor de vraag gaat het er om te bepalen waar de elektriciteit die gebruikt wordt in de wijk vandaan komt. Kan hiervoor een bepaalde productie-eenheid aangewezen worden of niet. Omdat in Nederland alle elektriciteitscentrales door een transportnet met elkaar zijn verbonden en ook de kosten van deze centrales tezamen worden genomen, voordat de tarieven worden bepaald, is het eigenlijk niet mogelijk om een concrete eenheid voor deze vraag aan te wijzen. Daarom wordt uitgegaan van elektriciteit uit het totale Nederlandse elektriciteitspark. Het elektriciteitspark in Nederland wordt steeds efficiënter en steeds schoner. Voor een eerlijker vergelijking van de verschillende opties is het nodig rekening te houden met deze verbetering. In scenariostudies heeft ECN berekeningen gedaan aan het elektriciteitspark tot aan 2020. De karakteristieken voor deze parken zijn overgenomen in het technologisch raamwerk. Zodoende is het mogelijk om bij de berekeningen rekening te houden met rendementverbeteringen in het elektriciteitspark gedurende de levensduur van de woninginstallaties.

In veel publicaties wordt voor vraagopties uitgegaan van een rendement van een nieuwe STEG. Enerzijds gebeurt dit vaak in studies die er op gericht zijn om de mogelijke toekomstige rol van technologieën te beschrijven, terwijl het in deze rapportage gaat om grootschalige implementatie van warmtepompen op korte termijn. Een ander argument dat genoemd wordt is dat een toename van de vraag leidt tot nieuwbouw van centrales. Deze relatie is echter zeker niet één op één (want met de huidige situatie van overcapaciteit is het even waarschijnlijk dat in ieder geval gedurende de eerste 5 jaar de extra vraag er toe leidt, dat bestaande centrales beter benut worden). Dit in ogenschouw nemend is de keuze voor een gemiddeld park als referentiesysteem de beste optie.

De gehanteerde keuzes voor het referentiesysteem leiden ertoe dat in eerste instantie een voorzichtige inschatting gemaakt wordt van de besparingen. Het is namelijk zo, dat voor een optie die elektriciteit produceert de besparingen door die optie lager worden als het referentiesysteem efficiënter is. Aan de andere kant is het zo voor een optie die elektriciteit verbruikt, de besparingen hoger worden als het referentiesysteem waarmee die elektriciteit wordt geproduceerd efficiënter is. Een andere keuze voor het referentiesysteem leidt dus vrijwel altijd tot een grotere besparing.

Omdat de keuze van referentiesysteem sterk bepalend is voor de uitkomsten worden in het volgende hoofdstuk ook de resultaten voor het geval van volledige waardering tegen nieuwbouw gepresenteerd. Dit gebeurt vooral om gevoel te krijgen voor de effecten van rendementsverbetering, het is aan de beslissers te bepalen op basis waarvan de uiteindelijke keuze plaats vindt.

3. RESULTATEN TECHNOLOGISCH RAAMWERK

Dit hoofdstuk weerspiegelt de resultaten voor de in hoofdstuk 2 gekozen opties op basis van de beschreven methodiek en uitgangspunten. Paragraaf 3.1 geeft een overzicht van de bijbehorende berekeningsresultaten voor de 6 opties. Hierbij wordt zowel gekeken naar de resultaten bij waardering van elektriciteit op basis van het gemiddelde park als op basis van een aardgasgestookte STEG. In paragraaf 3.2 worden de resultaten aan de hand van enkele gevoeligheidsanalyses in perspectief geplaatst. Het gaat hier om andere aannames m.b.t. de prestaties van warmtepompen en de effecten van zonneboilers en extra vraagreductie. In paragraaf 3.3 wordt het hoofdstuk afgesloten met enkele conclusies.

3.1 Berekeningsresultaten voor zes opties

Voor de 6 opties zijn berekeningen gedaan wat de effecten zijn op energie-, milieu- en kostengebied van de keuzes voor bepaalde infrastructuur en energieconversie-installaties. Hierbij zijn de functies ruimteverwarming, warm tapwater en koken in beschouwing genomen. In paragraaf 2.4.1 is voor het referentiesysteem voor elektriciteitsvraag uitgegaan van het gemiddelde elektriciteitspark in Nederland voor de komende 15 jaar. In paragraaf 2.4.2 is een hiervoor een nieuwe aardgas-gestookte STEG gehanteerd.

3.1.1 Resultaten bij parkgemiddeld rendement over 15 jaar

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de resultaten van de berekeningen bij als referentiesysteem voor elektriciteitsvraag het gemiddelde elektriciteitspark in Nederland voor de komende 15 jaar.

Tabel 3.1 *Resultaten bij referentie nieuw voor elektriciteitsproductie en 15-jaars gemiddelde voor elektriciteitsvraag*

	Besparing ¹			Bewoner	Kosten ²	
	Brandstof	CO ₂	Verzuring		Distributie	Totaal
Referentie	31GJ	2GJ	16GJ	1696	-211	1485
2 gasmotor	6%	4%	-90%	1676	422	2098
3 EWP, gas	22%	-3%	-243%	3205	-109	3096
4 EWP, elek	14%	-18%	-325%	2854	-142	2713
5 EWP, coll	22%	-3%	-247%	2033	944	2978
6 AWP, coll	19%	15%	-31%	1676	873	2548

¹ in % t.o.v. GJ per woning per jaar voor referentie

² gulden per woning per jaar

De tabel geeft aan dat in de referentiesituatie 31,1 GJ primaire energie per woning wordt gebruikt voor ruimteverwarming, warm tapwater en koken. Hiermee gepaard gaan een CO₂-uitstoot van 1,7 ton en een verzurende emissie van 16 zuurequivalenten. De beschouwde opties besparen op brandstof (primaire energie)

tussen de 6 en 22%. Voor CO₂ geldt, dat alleen de gasmotor en de absorptiewarmtepomp een reductie opleveren. Alle opties doen de verzurende emissies in mindere of meerdere mate toenemen. De mindere prestaties op het gebied van CO₂ en verzuring komen door het feit, dat elektriciteit per hoeveelheid primaire energie meer CO₂ en verzurende emissies kent. Dit wordt weer voornamelijk veroorzaakt doordat bij de Nederlandse elektriciteitsopwekking gebruik wordt gemaakt van kolen naast aardgas.

De kostencijfers in tabel 2.1 vormen niet een 15-jaars gemiddelde, maar zijn gebaseerd op de huidige tarieven/kosten van installaties. Dit omdat anders een uitspraak gedaan moet worden over het verloop van gas- en elektriciteitsprijs over de komende 15 jaar. Uit tabel 2.1 blijkt dat de bewoner in de referentiesituatie circa *f* 1700 kwijt is aan energie voor ruimteverwarming, warm tapwater en koken (Inclusief de vraag naar overige elektriciteit, waarmee hier geen rekening is gehouden, zou dit bedrag ongeveer *f* 2200 zijn). Dit zijn de betaalde tarieven inclusief de jaarlijkse lasten van de investering en onderhoud van de warmtevoorziening (exclusief BTW). Bij een gehanteerde gasinkoopprijs van 20 cent voor het distributiebeprijf maakt het distributiebeprijf circa 200 gulden winst op de levering (bij een prijs van 40 cent/m³ wordt vrijwel quitte gespeeld). De totale kosten van de voorziening bedragen in dit geval dus 1700 minus 200 is circa *f* 1500 gulden.

Omdat bij de warmtedistributieopties een niet meer dan anders principe is gehanteerd voor de huishoudelijke tarieven gelden voor optie 2 en 6 vrijwel dezelfde jaarlasten als voor de referentie. Bij optie 5 is ook sprake van warmtelevering, maar daar is bovendien een individuele warmtepompboiler aanwezig, waardoor de kosten wat hoger liggen. Hier is vooralsnog niet een nieuw speciaal tarief gehanteerd om ervoor te zorgen dat ook deze kosten gelijk zijn aan die van de HR-ketel.

Omdat de meeste opties duidelijke innovatieve aspecten kennen, is het waarschijnlijk dat er speciale tariefstelling gaat plaatsvinden. Deze is wel van invloed op de verdeling van de kosten tussen distributiebeprijf en consument, maar in principe niet op de totale kosten. Alleen in het geval van speciale tarieven voor inkoop van elektriciteit van het produktiebeprijf veranderen ook de totale kosten. Op dit gebied zijn wel ontwikkelingen te verwachten, gelet op het feit dat bij opslagsystemen relatief veel gebruik kan worden gemaakt van nachtstroom. Omdat daarover nu echter nog geen uitspraak kan worden gedaan, zal de analyse zich voornamelijk beperken tot de totale kosten van de opties, niet gesplitst naar verbruiker en distributiebeprijf. Gelet op de totale kosten blijken de andere opties alle substantieel duurder.

3.1.2 Resultaten bij aardgas-gestookte STEG als referentiesysteem

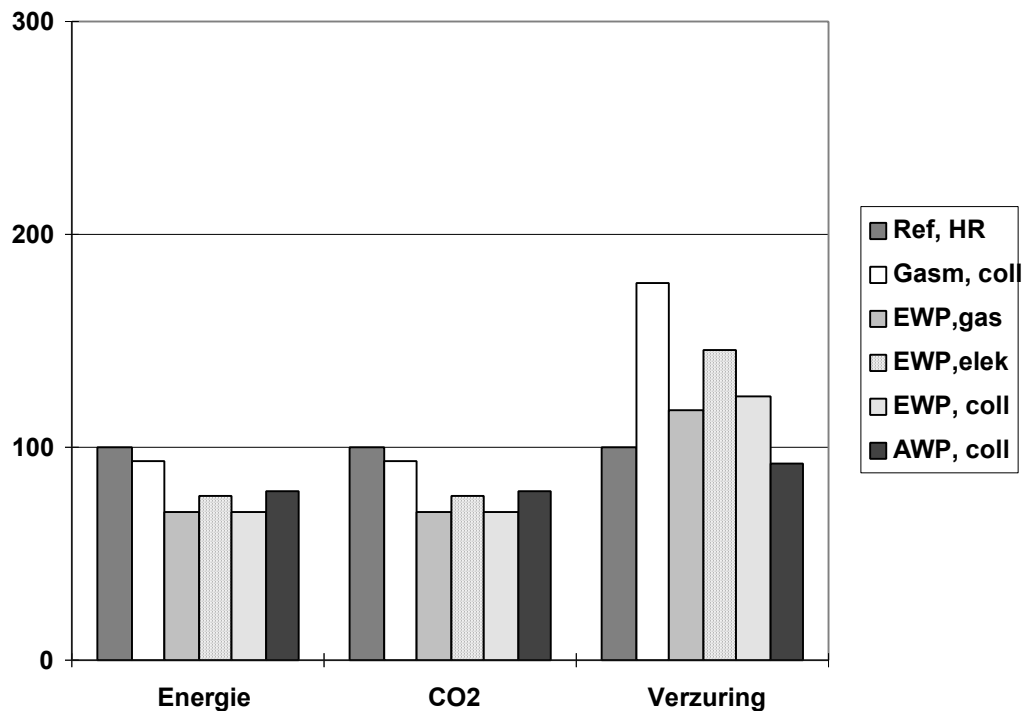
Zoals hiervoor reeds omschreven wordt bij de vergelijking van opties ook vaak gebruik gemaakt van een nieuwe STEG als referentie voor elektriciteitsopwekking. Dit gebeurt dan vanuit de gedachte, dat voor nieuwe vraag nieuw vermogen wordt gebouwd. Als voor zowel vraag als produktie een nieuwe STEG als referentie wordt genomen ontstaat het beeld van tabel 3.2. Hierin zijn geen nieuwe kostencijfers opgenomen, omdat deze niet afhangen van het referentiesysteem. Deze zijn namelijk gebaseerd op de tarieven.

Tabel 3.2 Resultaten bij referentie nieuw voor elektriciteitsproductie en elektriciteitsvraag

	Brandstof	Besparing ¹	
		CO ₂	Verzuring
Referentie	31GJ	2GJ	16GJ
2 gasmotor	7 %	7%	-77%
3 EWP, gas	30%	30%	-18%
4 EWP, elek	24%	24%	-43%
5 EWP, coll	30%	30%	-24%
6 AWP, coll	21%	21%	7%

¹ in % t.o.v. GJ/woning per jaar voor referentie

Het hanteren van een nieuwe STEG als referentie voor de vraag heeft substantiële effecten (vergelijk met tabel 3.1). Alleen op de referentie, waar geen sprake is van elektriciteitsverbruik heeft dit geen invloed. Bij de andere opties stijgt de besparing met circa 10% (elektrische warmtepomp). Voor de gasmotor en de absorptiewarmtepomp zijn dit enkele procenten (de verbetering wordt veroorzaakt door het elektrisch koken, dat nu minder milieubelastend wordt). De CO₂-reductie is nu voor alle opties even groot als de energiebesparing. Dit komt door de keuze voor gasinzet voor de opwekking van elektriciteit. Daardoor geldt nu voor alle opties dat aardgas de enige primaire energiedrager is. Omdat de CO₂-emissie rechtstreeks gekoppeld is aan de energiedrager, is de procentuele CO₂-reductie nu net zo groot als de energiebesparing. Ook de verzurende emissies nemen nu duidelijk af.



Figuur 3.3 Resultaten bij nieuwe STEG als referentie voor vraag en aanbod

In bovenstaande figuur wordt direct de invloed van de referentiekeuze duidelijk. Voor alle opties liggen de eerste twee balkjes (energie en CO₂) nu duidelijk onder de lijn van de referentie en hebben ook dezelfde vorm. In de bijlage is nog een tabel opgenomen met de effecten in het geval van gemiddeld parkrendement voor zowel productie als vraag. Dit betekent dus dat het referentiesysteem voor

elektriciteitsproductie minder schoon wordt. Voor opties waarin dus zelf elektriciteit geproduceerd wordt (zoals bij warmte/kracht), wordt de elektriciteit dan meer waard.

3.2 Gevoeligheidsanalyses

Ten opzichte van de berekeningen waarvan de resultaten in de vorige paragraaf zijn gepresenteerd zijn vele gevoeligheidsanalyses mogelijk. Hieronder word een indruk gegeven van een aantal mogelijkheden. In eerste instantie worden de resultaten van berekeningen met een volledige dekking van de warmtevraag door de warmtepomp gedaan en een warmtepomp met hogere COP. Vervolgens wordt ingegaan op de besparingseffecten van een zonneboiler en extra vraagreductie. De berekeningen worden uitgevoerd over een genormeerde levensduur van 15 jaar.

3.2.1 Volledige warmtevraagdekking door warmtepomp

In onderstaande tabel staan de resultaten weergegeven van de effecten van de opties met warmtepompen indien wordt uitgegaan van 100% dekking, zowel voor individuele als collectieve warmtepompen. Dit betekent dus dat de dekking van de individuele warmtepompen stijgt van 97% naar 100% en die van de collectieve warmtepompen van 85% naar 100%. Hierbij zijn alleen de energie/milieu-effecten weergegeven, omdat ECN geen berekeningen heeft gedaan hoe groot een dergelijk systeem dan dient te zijn en wat de daarbij behorende kosten zijn.

Tabel 3.3 *Resultaten bij volledige dekking warmtevraag door warmtepomp*

	Brandstof	Besparing ¹	
		CO ₂	Verzuring
Referentie	31GJ	2GJ	16GJ
2 gasmotor	6%	4%	-90%
3 EWP, gas	23%	-3%	-250%
4 EWP, elek	18%	-13%	-308%
5 EWP, coll	27%	0,2%	-261%
6 AWP, coll	26%	22%	-25%

¹ in % t.o.v. GJ/woning per jaar voor referentie

Ten opzichte van de opties met bijstook (tabel 3.1) neemt de besparing in de opties 5 en 6 het meeste toe. Dit komt doordat in die opties de dekking stijgt van 85% naar 100%. De collectieve warmtepompen blijven daarom ook in dit geval energetisch en milieutechnisch het meest aantrekkelijk. Het verschil tussen 3 en 4 wordt kleiner (doordat de elektrische bijstook nu geheel verdwenen is) en bestaat nu alleen nog uit koken op aardgas of op elektriciteit.

3.2.2 Warmtepomp met hogere COP

In Nederland is de toepassing van elektrische warmtepompen voor ruimteverwarming voornamelijk beperkt tot demonstratieprojecten. Kosten en rendementen zijn daarom ook nog onzeker. Tot nu toe is voor individuele warmtepompen een COP gehanteerd van 2,57. De verwachting is dat zeker in de toekomst deze COP zal toenemen.

Onderstaande tabel weerspiegelt de besparingen van de opties met individuele warmtepompen in het geval van een COP van 3,0.

Tabel 3.4 Resultaten bij COP van 3,0 voor individuele warmtepomp

	Brandstof	Besparing ¹	
		CO ₂	Verzuring
Referentie	31GJ	2GJ	16GJ
3 (COP: 2,57)	22%	-3%	-243%
3 (COP: 3,0)	28%	5%	-213%
4 (COP: 2,57)	14%	-18%	-325%
4 (COP: 3,0)	20%	-9%	-295%

¹ in % t.o.v. GJ/woning per jaar voor referentie

De brandstofbesparing neemt zowel in het geval van elektrische bijstook als bij gas zes procent-punten toe. Voor de CO₂-emissie en de verzuring zijn deze effecten nog groter.

3.2.3 Zonneboiler en/of vraagbeperking

De keuzes voor infrastructuur en conversie-installaties hebben hun invloed op energiebesparing, milieu en kosten. Dit is reeds uitgebreid besproken. Extra besparing kan echter ook bereikt worden door duurzame energie of extra vraagbeperkende maatregelen. Hierbij moet gedacht worden aan bijvoorbeeld zonneboilers of extra isolatie. Het verschil met bovenbeschreven opties, is dat deze opties zowel elkaar als de beschreven opties niet uitsluiten (het is niet of/of maar kan ook en/en zijn). Om de besparingen in de opties te relateren aan de besparingen van de zonneboiler is ook gekeken naar de energiebesparing in het geval van een zonneboiler en bij extra vraagreductie.

Tabel 3.5 Besparing van zonneboiler/extra vraagbeperking

	Besparing ¹			Kosten ²		Totaal
	Brandstof	CO ₂	Verzuring	Bewoner	Distrib	
Referentie	31GJ	2GJ	16GJ	1696	-211	1485
Zonneboiler	17%	16%	9%	1935	-158	1777
Vraagreductie	19%	17%	-9%	1813	-150	1663

¹ in % t.o.v. GJ per woning per jaar voor referentie

² gulden per woning per jaar

Bij bovenstaande getallen gaat het om de vraag per woning. Op wijkniveau zijn niet alle woningen geschikt voor een zonneboiler i.v.m. de zon-oriëntatie. Indien 80% van de woningen een zonneboiler zou krijgen wordt 80% van de berekende 17% besparing op wijkniveau bereikt (=14%).

Zowel de zonneboiler als extra vraagreductie blijken in dezelfde orde van grootte te kunnen besparen. Zoals al aangegeven is het voor deze maatregelen echter geen kwestie van of/of maar kan het ook en/en zijn. Wel is het zo, dat combinaties niet onafhankelijk van elkaar zijn. De meerkosten van een zonneboiler zijn bij stadsverwarming namelijk groter dan bij de HR-ketel. Dit komt doordat in het geval van stadsverwarming relatief goedkope warmte wordt vermeden door de zonneboiler, terwijl bij de HR -ketel het wat duurdere aardgas wordt uitgespaard.

In het algemeen kan gesteld worden dat de additionele besparing van combinaties van systemen doorgaans kleiner is dan de som van de delen en dat de kosten doorgaans wat hoger zijn dan de som van de delen. Het is dus een uitdaging om uiteindelijk zo goed mogelijke combinaties te realiseren. Gezien het feit dat de meest opties qua besparing dicht bij elkaar liggen kan dit optimum van geval tot geval verschillen.

3.3 Conclusies

Voor de onderzochte opties geldt dat ze allen in principe energiebesparing opleveren. De exacte hoeveelheid hangt af van karakteristieken van de installaties, dimensionering van de systemen en de manier van berekenen. Verder wordt dit ook nog enigszins bepaald door vraagkarakteristieken binnen de woning. Voor CO₂ en NO_x geldt niet bij alle opties een besparing. Dit komt doordat in vrijwel alle opties een gedeelte van de aardgasinzet in de referentie wordt vervangen door elektriciteit. Deze elektriciteit heeft hogere emissies van NO_x en CO₂ per hoeveelheid primaire energie dan voor aardgas (hoofdzakelijk door het gebruik van kolen).

Essentieel bij de berekening van de besparing is de keuze van elektrische referentie. Er is hier in eerste instantie voor gekozen om een parkgemiddeld rendement te hanteren over de genormeerde levensduur van de technologie. Bij deze uitgangspunten besparen alle doorgerekende opties ten opzichte van de HR-ketel. Deze energiebesparing loopt van ruim 6% tot 22%. Hierbij geldt, dat hoe verder in de toekomst des te beter gaan elektriciteitsverbruikende opties presteren als gevolg van het stijgende parkrendement.

Van de onderzochte opties scoren de elektrische/absorptiewarmtepompen met warmtelevering op energie- en milieugebied het best. Voor de individuele warmtepompen is de dimensionering van het systeem en daarmee de warmte dekking van de warmtepomp zeer belangrijk. Bij de in deze studie veronderstelde dekking van 97% wordt bij de individuele warmtepomp afhankelijk of met elektriciteit of gas wordt bijgestookt tussen de 14% en 22% energie bespaard. Het verschil in besparing tussen gas- en elektriciteitsbijstook wordt vooral bepaald door het koken op gas/elektriciteit. Zodra de dekking van de warmtepomp onder de 90% komt worden de milieuvoordelen van de warmtepomp weer grotendeels teniet gedaan.

4. TOEKOMSTWAARDE, LIBERALISERING & BEWONERSACCEPTATIE

De keuze voor een bepaalde infrastructuur is niet alleen gebaseerd op de kwantitatieve resultaten. Hierbij spelen tal van andere zaken een rol zoals bijvoorbeeld toekomstwaarde, de gevolgen van liberalisering en de bewonersacceptatie. De mate waarin deze aspecten de beslissing beïnvloeden kan van situatie tot situatie verschillen en van beslisser tot beslisser. Dit hoofdstuk beschrijft enkele kwalitatieve overwegingen die van belang kunnen zijn bij de keuze voor een infrastructuur

4.1 Toekomstwaarde

De toekomstwaarde van een energie-infrastructuur wordt bepaald door de flexibiliteit van een energie-infrastructuur om in te spelen op toekomstige ontwikkelingen. Bij de beoordeling van een energie-infrastructuur vanuit het aspect toekomstwaarde gaat het om de vraag hoe bepalend keuzes nu zijn voor keuzes in de toekomst. Een energievoorzieningssysteem bestaat uit verschillende onderdelen: van energiebron, via infrastructuur naar energievragende functies in een gebouw, met op verschillende plaatsen conversietechnologieën. Deze onderdelen hebben een verschillende levensduur. De keuze voor een bepaalde energie-infrastructuur kan gedurende zijn levensduur de alternatieven voor een ander onderdeel beperken. Daarmee kan de keuze voor een energie-infrastructuur nu bepalend zijn voor de inpassing van nieuwe technologieën in de toekomst. Naast deze technologische benadering van het aspect toekomstwaarde, moeten ook andere toekomstige ontwikkelingen worden beschouwd. Sinds de Derde Energienota is liberalisering van de energiemarkt een issue voor de toekomstige energiemarkt geworden. Bij de keuze van een energie-infrastructuur moet ook met de mogelijke consequenties van liberalisering rekening worden gehouden. Ook de in de Derde Energienota beschreven ontwikkelingen in de elektriciteitsopwekking kunnen van belang zijn.

Goed casco

Bij energiebesparing wordt meestal direct gedacht aan verbetering van efficiency aan de aanbodkant, de inzet van betere conversietechnologie die tot minder energieverliezen leidt. Vaak wordt vergeten dat ook energiebesparing kan worden bereikt door aan de vraagkant energieverbruik te vermijden. Zo kan de warmtevraag worden beperkt door maatregelen als isolatie en zuidorientatie. Vanuit het oogpunt van toekomstwaarde verdienen vraagbeperkende maatregelen de voorkeur boven efficiënte conversietechnologieën. Een goed casco staat tot renovatie 30 à 50 jaar en gaat daarna nog langer mee, terwijl efficiënte conversietechnologie, zoals een elektrische warmtepomp na zo'n 15 jaar moet worden vervangen. Bovendien kunnen oriëntatie en constructieve maatregelen later niet meer eenvoudig worden aangepast. In hoeverre zowel vraagbeperkende maatregelen als efficiënte conversietechnologie kan worden toegepast is afhankelijk van economische randvoorwaarden.

Nieuwe conversietechnologie

Als resultaat van technische ontwikkeling verschijnen steeds nieuwe technologieën op de markt. Nieuwe technologieën als micro-warmte/kracht, warmtepompen en PV dienen zich aan. Voor de toekomstwaarde van een energie-infrastructuur is het van belang na te gaan of inpassing van die technologieën in de toekomst mogelijk is, indien daar niet nu al voor wordt gekozen. De inpassing van die nieuwe technologieën is afhankelijk van de aanwezigheid van de benodigde energiedrager, maar ook de capaciteit van het aangelegde net. Zo is voor eventuele toepassing van micro-warmte/kracht in ieder geval een gasnet nodig, maar zal dat net ook voldoende capaciteit moeten hebben. Een gasnet dat is uitgelegd op koken en bijstook voor een elektrische warmtepomp is dan wellicht niet voldoende. Als nu niet voor elektrische warmtepompen wordt gekozen en een elektriciteitsnet alleen ter voorziening van elektriciteitsvraag voor verlichting en apparatuur wordt aangelegd, zal ook de capaciteit van het net wellicht onvoldoende blijken om later alsnog elektrische warmtepompen in te zetten. Afhankelijk van de dimensionering en de wijze van bedrijven kan bij micro-WKK en PV ook teruglevering aan het net van belang zijn. Ook op gebouwniveau moet vaak aan bepaalde randvoorwaarden worden voldaan om inpassing van een nieuwe technologie mogelijk te maken. Voor PV is het nodig dat de huizen op de zon georiënteerd zijn. Voor inpassing van warmtepompen moet het CV systeem op een lage temperatuur worden bedreven en voor micro-wkk is een rookgasafvoer nodig.

Elektriciteitsopwekking

Hoe verandert de wijze van elektriciteitsopwekking en welke invloed kan dat hebben op de keuze voor een infrastructuur dan wel energievoorziening? De doelstelling uit de Energienota van 10% duurzaam moet vooral uit de elektriciteitsopwekking komen. Verder wordt in de Energienota de verwachting uitgesproken dat vooral industriële WKK een grote vlucht zal nemen. In de industrie zijn door de hoge bedrijfstijden de omstandigheden voor WKK ook gunstig. Door duurzame elektriciteitsopwekking en industriële WKK zou er wel eens geen ruimte kunnen zijn voor nieuw vermogen in de vorm van een warmtelevering STEG voor het KAN-gebied. Als de opgewekte elektriciteit door het gebied zelf gebruik wordt (Ecopolis gedachte) door ook toepassing van elektrische warmtepompen in het gebied te stimuleren is er natuurlijk geen probleem met inpassing in het landelijke park. Elektrische warmtepompen profiteren daarnaast ook nog eens van een toenemende efficiency van elektriciteitsopwekking. Aangenomen mag worden dat in ongeveer 25 jaar het volledige park wordt vernieuwd, en dat het gemiddelde parkrendement dus in ieder geval kan stijgen van 40% naar 55% (het opwekkingsrendement van een moderne STEG). De CO₂ -emissie en primaire energie inzet kan nog verder dalen door toepassing van duurzame bronnen en warmte/kracht.

Andere bronnen dan aardgas

Uiteindelijk zijn alle varianten gebaseerd op fossiele brandstoffen, voornamelijk aardgas. Over de beschikbaarheid van aardgas in de toekomst lopen de schattingen nogal uiteen. Daarom lijkt het verstandig als uitgangspunt de formulering in de derde energienota te nemen dat de onzekerheden rond de beschikbaarheid van aardgas vanaf 2020 zullen toenemen. De consequenties daarvan zijn niet voor alle varianten van energievoorziening gelijk. De secundaire energiedragers warmte- en elektriciteit kunnen i.p.v. uit aardgas ook met zon, wind, kolen of biomassa worden geproduceerd. De conversietechnologie moet worden aangepast, maar de energiedrager die door het

net wordt getransporteerd blijft dan hetzelfde. Wordt voor de energiedrager aardgas gekozen, dan is de infrastructuur minder flexibel voor de inpassing van andere energiebronnen. In plaats van gas zou ook waterstof naar de gebouwen kunnen worden getransporteerd, maar dat zal toch enige aanpassing aan het net vergen gezien de lagere energiedichtheid van waterstof t.o.v. aardgas.

4.2 Liberalisering van energiemarkten

De consequenties van liberalisering zijn niet voor alle energiedragers hetzelfde. Warmtelevering via een warmtenet is een lokale energievoorziening, door de energieverliezen in het net kan warmte niet over grote afstanden getransporteerd worden. Dit betekent dat een distributiebedrijf van warmte een monopoliepositie heeft. Maar een risico vormt het NMDA-principe, waarmee de opbrengstenkant voor een distributiebedrijf van warmte aan de gasprijs gebonden is. Gas of elektriciteit kan wel over grote afstanden worden getransporteerd. Een individuele aanbieder kan gas of elektriciteit in de toekomst goedkoper aanbieden om zijn marktaandeel te vergroten. De consumenten van gas en elektriciteit profiteren daarvan. In geval van een warmtenet zou dan via het niet-meer-dan-anders principe ook de warmteprijs moeten dalen, maar daarmee kan de exploitatie van het warmtenet onder druk komen te staan. Het aandeel brandstofkosten in de totale kosten van een warmtenet zijn namelijk laag. De kosten van een warmtenet bestaan vooral uit kapitaalslasten. De risico's van een warmtenet zijn door de hoge investeringen hoog. Een commercieel ingesteld energiebedrijf zal die risico's willen vermijden.

4.3 Bewonersacceptatie

Voor de acceptatie van bewoners van een energie-infrastructureur of energievoorziening zijn vier aspecten van belang:

- 1 kosten
- 2 comfort
- 3 onderhoud en storingsgedrag
- 4 imago

Behalve over de kosten, zullen deze aspecten soms voor een bepaalde keuze van energie-infrastructureur en variant voor energievoorziening vooraf moeilijk te beoordelen zijn. Wel zijn die aspecten belangrijk voor het wel slagen van een project. Daarom verdienen ze zeker aandacht bij de eerste uitvoering van projecten.

Kosten

Wat betreft de kosten van een energievoorziening voor bewoners gaat het teneerste om de stichtingskosten van de woning en de kosten van benodigde installaties voor energievoorziening. Kosten van bouwkundige maatregelen om energievraag te beperken komen in de stichtingskosten of de huurprijs van een woning terecht. Hoe lager de EP, des te hoger de stichtingskosten, c.q. huur. Maar in verhouding tot de totale stichtingskosten stellen de kosten van vraagbeperkende maatregelen weinig voor. Voor wat betreft de installatie zijn de aanschafprijs en de installatiekosten en de aanpassing van het CV-systeem van belang. Een HR-ketel is dan nog het meest voordelig.

Maar ook moeten de verbruikskosten van een installatie worden meegenomen. Een zonneboiler is wel duur, maar de zon is gratis en dat scheelt op de energierekening. Een elektrische warmtepomp heeft door de hogere COP weliswaar minder GJ aan elektriciteit nodig dan een aardgasgestookt systeem aan gas, maar elektriciteit is per energie-inhoud weer duurder dan gas.

Een obstakel vormt ook de heffingsvrije voet van de kleinverbruikersheffing, de eerste 800 m³ en de eerste 800 kWh waar geen heffing over betaald hoeft te worden. In het geval van een elektrische warmtepomp kan de bewoner niet van de vrijstelling voor aardgas profiteren, wat dus een potentieel nadeel oplevert. Tevens moet er rekening mee worden gehouden, dat 800 m³ aardgas meer energie vertegenwoordigt dan 800 kWh elektriciteit.

Comfort

Wat comfort betreft: een bewoner wil het vooral snel warm hebben en de temperatuur in huis goed kunnen regelen. Regelbaarheid is dus een aspect. Ook het soort CV-systeem kan hierbij een rol spelen, zoals de traagheid van vloerverwarming.

De installatie in de woning mag geen lawaai maken. Dit is vooral een aandachtspunt voor de elektrische warmtepomp met een compressor als onderdeel, maar ook bij gebalanceerde mechanische ventilatie.

Een ander aspect wat van belang kan zijn is het ruimtebeslag dat een installatie in de woning inneemt, de afmetingen en het uiterlijk. Een concept met daarin een (combinatie van) elektrisch warmtepomp en zonneboiler heeft een groot voorraadvat nodig. Een collectief systeem voor warmtelevering is hier in het voordeel.

Onderhoud en storingsgedrag

Het liefst heeft een bewoner geen omkijken naar zijn installatie in de woning. Een installatie moet zo min mogelijk onderhoud nodig hebben en dat mag ook niet te veel kosten. Een bewoner wil altijd warmte hebben en dus moet de installatie vooral storingsvrij draaien. Mochten storingen toch voorkomen dan is een goede service van belang. Het voordeel van een elektrische warmtepomp is dat er geen verbranding plaats vindt zoals in een ketel. Onderhoud in de vorm van schoonmaken van branders is bij een elektrische warmtepomp dan ook niet nodig. Een koelkast draait ten slotte ook vele jaren zonder dat iemand daar naar omkijkt. Wel is wellicht wat onderhoud nodig aan de "warmtebron" van de elektrische warmtepomp, bijvoorbeeld het schoonmaken van lucht- of waterfilters en het onderhoud aan pompen.

Imago

In hoeverre bewoners een energievoorzieningsvariant gemakkelijk accepteren is ook afhankelijk van het subjectieve beeld dat zij hebben van een energie-infrastructuur of installatie. De bekendheid van een installatie is daarbij van belang. Alleen een HR-ketel kan op een goede bekendheid rekenen. Juist voor nieuwe technologie zoals de elektrische warmtepomp vormt die onbekendheid een belangrijk aandachtspunt. Zonder voorlichting zal de publieke opinie een nieuwe technologie al gauw als ingewikkeld, teveel gedoe, of te futuristisch bestempelen en is men bang voor kinderziekten. Door middel van voorlichting kan die opinie worden omgebogen en zal men een warmtepomp beoordelen als een moderne, schone technologie, die een bijdrage kan leveren aan verbetering van het milieu. De veiligheid van een techniek is

daarbij ook van belang. Specifiek voor warmtelevering geldt dan nog het gevoel afhankelijk te zijn van een groot systeem. Uit onderzoek van EnergieNed naar de opinie over warmtedistributie blijkt dat afhankelijkheid als een belangrijk nadelig aspect van warmtedistributie wordt beschouwd. Of deze perceptie terecht is, zal moeten blijken uit onderzoek naar storingsgevoeligheid van gas- elektriciteits- en warmtelevering.

5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Voor de te maken keuzes speelt een veelheid van factoren een rol. Voor de gemeente zijn dit natuurlijk de energie- en milieuprestaties, maar ook de kosten en de betrouwbaarheid van de voorziening voor de burgers. De berekeningen geven aan dat alle opties in principe meerkosten opleveren. Een gedeelte van deze meerkosten kan wellicht worden vermeden door gunstiger tarieven te bedingen bij inkoop van energiedragers bij Sep/Gasunie, subsidies of kortingen op installaties, etc. Het is echter niet waarschijnlijk dat deze meerkosten hiermee volledig kunnen worden gecompenseerd. In dat geval dient een sleutel gevonden te worden om deze meerkosten te verdelen tussen bewoner/gemeente/distributiebedrijf.

Gegeven dat een groot deel van de doorgerkende opties nog niet op grote schaal in Nederland wordt toegepast, heersen er nog onzekerheden m.b.t. prijs en prestatie. Het is daarom de vraag of het verstandig is, indien gekozen wordt voor innovatie, dit direct op het gehele gebied te betrekken. Voor de meeste opties lijkt een kleinschaliger demonstratieproject in eerste instantie meer voor de hand te liggen.

Alle voor- en nadelen van de verschillende opties overziend, alsmede het gegeven dat energiebesparing ook nog mogelijk is via diverse andere wegen (zoals bijvoorbeeld een zonneboiler of extra isolatie), valt er in dit stadium niet één optie aan te wijzen die duidelijk de beste is. Hierbij speelt ook, dat naast de keuze van een bepaalde technologie de manier waarop deze technologie wordt geïmplementeerd en gedimensioneerd eveneens zeer belangrijk is voor energiebesparing. Ten slotte dient bedacht te worden, dat de technologie-ontwikkeling de komende jaren ook niet stil zal staan. Een keuze op dit moment voor één technologie voor de gehele bouwstroom gaat voorbij aan deze dynamiek. Op dit moment lijkt een extra besparing van 15% haalbaar, waarbij het aan de verschillende distributiebedrijven is om op basis van hun ondernemerschap en creativiteit een energievoorziening te realiseren, die zo dicht mogelijk bij de optimale uitkomst, gegeven deze randvoorwaarden. Een uitgebreidere beschrijving van dit keuzeprocess is te vinden in het ECN-rapport 'Het vijf-stappenplan voor een optimale energie-infrastructuur' (ECN-I--97-016).

BIJLAGE A. OVERZICHT INPUTGEGEVENS

A.1 Karakterisering technologieën

		Gas	Elektriciteit	Warmte		
Infrastructuur						
aanlegkosten vast	f/woning	1200	700	6000		
aanlegkosten variabel	f/kW	7	30	280		
exploitatie	f/woning/jaar	30	30	30		
onderhoud	f/woning/jaar	55	140	170		
transport/distributieverliezen	%	0	5	15		
investering bemetering	f/woning	150	250	675		
onderhoud bemetering	f/woning/jaar	1.5	2.5	32		
warmtemengsyst+wtw-inst	f/woning	0	0	1050		
warmtemengsyst+wtw-inst	f/woning/jaar	0	0	20		
afschrijftermijn	jaar	25	25	25		
Conversie						
		HR-ketel	Hulpwarmtekotel	Gasmotor	EWP wtw	EWP indiv
		gas	gas	gas	ventilatielucht	bodemw.w.
energiedrager in		warmte-ind	warmte-coll	warmte-coll	elektriciteit	elektriciteit
energiedrager uit	f	2600	1000	1500	warmte-ind	warmte-ind
investering	f/jaar	150	75	30	100	125
onderhoud	jaar	15	15	15	15	15
levensduur	%	0.95	1	1	0.00	2.57
rendement RV woning	%	0.65	1	1	2.03	0
rendement WTW woning	%	0	0	0.35	0	0
elektrisch rendement	%	0	0.95	0.5	0	0
thermisch rendement	gram/GJi	25	25	70	0	0
NO _x -emissie	%	0	0	0	20	20
Subsidie	woning	woning	woning	kWe	woning	woning
Eenheid voor kostenbepaling						
Conversie, vervolg						
		EWP coll.	Zonneboiler	Weerst.verw	HR-brander	Absorptie-wp
		bodemw.w.	zon	elektriciteit	gas	gas
energiedrager in		elektriciteit	warmte-ind	warmte-ind	warmte-ind	warmte-coll
energiedrager uit	f	5000	3000	0	1500	6000
investering	f/jaar	70	50	0	150	100
onderhoud	jaar	15	15	15	15	15
levensduur	%	1.00	0.00	0.98	1.00	1.00
rendement RV woning	%	0	1	0.98	0.65	1
rendement WTW woning	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
elektrisch rendement	%	3.86	0.00	0.00	0.00	1.55
thermisch rendement	gram/GJi	0	0	0	25	25
NO _x -emissie	%	20	0	0	0	20
Subsidie	woning	woning	woning	woning	woning	woning
Eenheid voor kostenbepaling						

Toelichting inputgegevens

energiedrager uit	de energiedrager die het apparaat uitkomt (warmte voor collectief dan wel individueel gebruik),
investering	de investeringskosten per eenheid voor kostenbepaling,
rendement RV woning	het rendement waarmee de energiedrager, die de woning binnenkomt wordt omgezet in nuttige warmte voor het CV-systeem;
rendement WTWwoning	het rendement waarmee de energiedrager, die de woning binnenkomt wordt omgezet in nuttige warmte voor warm tapwater;
elektrisch rendement	rendement waarmee de ingaande energiedrager wordt omgezet in elektriciteit,

thermisch rendement rendement waarmee de ingaande energiedrager wordt omgezet in warmte voor collectief gebruik,
 eenheid kostenbepaling de eenheid ten opzichte waarvan de kosten zijn uitgedrukt.

Gehanteerde bronnen

Alle gehanteerde input is afgestemd met de distributiebedrijven NUON en GGR. De overige literatuurbronnen voor de infrastructuur en conversietechnologie zijn hieronder weergegeven.

- 1 Infrastructuur: L.B.M.M. Boels e.a., Syrenestudie Infrastructuur Brandstoffen Distributie van energiedragers, CE, Delft, 1994.
 F.J. Rooijers, Afweging van warmtevoorzieningsopties, CE, Delft, 1994.
- 2 HR-ketel: M.E. Ossebaard e.a., Duurzame warmtevoorziening; systeemstudie van technologische opties voor de warmte-infrastructuur, NW&S, Utrecht, 1994.
 Evaluatie van de verhuur van hoog rendement CV-ketels, ECN-C--93-061, J.M. Bais, Petten, April 1994.
 Consumentengids augustus 1994
- 3 Gasmotor: Warmte/kracht, van kwantiteit naar kwaliteit, ECN-C--94-091, M. Beeldman e.a., Petten, oktober 1994.
 Senter, jaarverslag warmte/kracht 1993, Zwolle.
 Diverse publicaties Projectbureau Warmte/Kracht, Driebergen/Rijsenburg.
- 4 Warmtepomp: Fabrikantgegevens Techneco en Stiebel Eltron, Tebodin
 De rendementen van warmtepompen zijn afhankelijk van de temperatuur van het CV-systeem. De hier genoemde waarden gelden bij een CV-systeem met radiatoren met aanvoer/retourtemperatuur van 60°C respectievelijk 40 °C.
- 5 Zonneboiler: M.E. Ossebaard e.a., Duurzame warmtevoorziening; systeemstudie van technologische opties voor de warmte-infrastructuur, NW&S, Utrecht, 1994.
 Informatie ECN-Duurzame energie
- 6 Elektrische weerstandsverwarming: Kosten zijn opgenomen in de kosten van het warmtepompsysteem.
 Rendement is gebaseerd op: Warmte in de aanbieding, CE, Delft, 1997.
- 7 HR piekbrander: De kosten betreffen een ECN-schatting (de helft van de kosten van een HR-ketel).

A.2 Gemiddeld elektriciteitspark

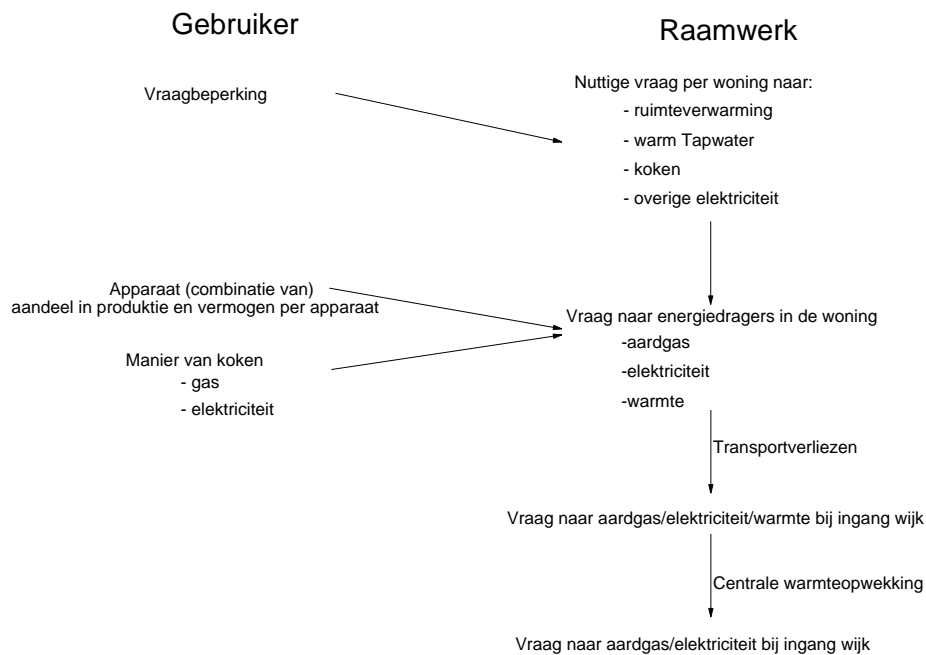
Bij verschillende berekeningen in het rapport worden de karakteristieken van de elektriciteit die de wijk binnenkomt gebaseerd op het gemiddelde elektriciteitspark. De karakteristieken voor het gemiddelde park in dit rapport zijn gebaseerd op een interpolatie van de realisaties voor het jaar 1995 en scenarioberekeningen voor de jaren 2010 en 2020 (Nationale Energie Verkenningen, scenario Global Competition, nog te verschijnen).

	1998	2000	2005	2010	2015
Rendement [%]	43	45	49	53	54

CO ₂	[kg/kWh]	0.63	0.62	0.57	0.53	0.47
SO ₂	[g/kWh]	0.25	0.24	0.20	0.17	0.17
NO _x	[g/kWh]	0.75	0.70	0.57	0.44	0.37

BIJLAGE B. BEREKENINGSMETHODE

Deze bijlage geeft een korte toelichting op het raamwerk en de hierin gehanteerde methodiek. De opbouw van het Technologisch raamwerk is reeds kort beschreven in de inleiding. Hieronder is dit schematisch weergegeven.



Figuur 1 Schematische opbouw technologisch raamwerk

B.1 Structuur raamwerk

Allereerst wordt op basis van het vraagbeperkingspakket de vraag naar ruimteverwarming, warm tapwater, koken en overige elektriciteit bepaald. Hieruit kan een zgn. EPN-casco worden afgeleid. Vervolgens dient de gebruiker aan te geven met welke (combinatie van) apparaten wordt voorzien in de vraag naar ruimteverwarming en warm tapwater, zowel het aandeel in de productie als in het vermogen. De gebruiker dient tevens aan te geven hoe er gekookt wordt en welk CV-systeem wordt gekozen.

Op basis van de apparaten wordt eerst de vraag naar energiedragers op woningniveau bepaald (aardgas, elektriciteit, warmte). Vervolgens wordt met behulp van transportverliezen de vraag aan de ingang van de wijk bepaald. Indien sprake is van collectieve warmtelevering wordt deze aan de ingang van de wijk geproduceerd (eventueel gepaard gaand met elektriciteitsproductie). Uiteindelijk gaat er alleen elektriciteit en/of aardgas de wijk in en eventueel elektriciteit de wijk uit. Op basis van de hoeveelheden aardgas/elektriciteit die de wijk in/uit gaan kan het energie/milieu-

effect bepaald worden. Hierbij dient voor elektriciteit het referentiesysteem gekozen te worden om de karakteristieken van elektriciteit te bepalen (in termen van primaire energie en emissies) die de wijk in komt/wijk uitgaat.

Op basis van de gekozen apparaten worden de kosten berekend. Aan de hand van de vraag per woning wordt tevens bepaald welke infrastructuur nodig is en wat hiervan de kosten zijn. Bij de weergave van de kosten is er een uitsplitsing gemaakt tussen kosten voor de gebruiker en kosten voor het distributiebureau. Hierbij worden de kosten van de infrastructuur en de kosten van energiedragers die de wijk binnenkomen toegerekend aan het distributiebureau. Bovendien worden de kosten van installaties die voorzien in collectieve warmtelevering ook toegerekend aan het distributiebureau. Apparaten voor individuele warmtelevering en de kosten voor warmtevraagbeperkende maatregelen komen voor rekening van de gebruiker. Bovendien betaalt de gebruiker de reguliere tarieven voor aardgas/elektriciteit en warmte. De betaalde tarieven gelden weer als opbrengst voor het distributiebureau.

B.2 Weergave resultaten

De resultaten worden weergegeven in tabelvorm. Op de eerste regel staan de resultaten vermeld voor de referentie, in de volgende regels de resultaten voor de andere opties. De besparingsgetallen zijn gekoppeld aan die van de referentie, de kostengetallen zijn voor alle opties weergegeven in guldens per jaar. Dit ziet er ongeveer als volgt uit:

Tabel

	Besparing			Bewoner	Kosten	
	Brandstof	CO ₂	Verzuring		Distrib	Totaal
Referentie	GJ	ton	zuur. eq.	f	f	f
2	%	%	%	f	f	f
3	%	%	%	f	f	f
.	%	%	%	f	f	f
.	%	%	%	f	f	f
n	%	%	%	f	f	f

De besparing voor optie 2 tot n is gedefinieerd als het primair verbruik in de referentie minus het primair verbruik in de variant, gedeeld door het primair verbruik van de referentie plus het uitgespaarde primaire verbruik in geval van elektriciteitsproductie.

In formulevorm:

$$\text{Besparing}_{fi} = \frac{(\text{verbruik}_{ref} / \text{verbruik}_{case})}{(\text{verbruik}_{ref} \cdot \frac{\text{elektriciteitsproductie}_{case}}{\text{rendement}_{elektriciteitsproductiereferentie}})}$$

waarbij het verbruik voor de optie wordt bepaald door:

$$\text{verbruik}_{case} \text{ fi aardgas} = \frac{\text{elektriciteitsvraag}}{\text{rendement}_{elektriciteitsvraagreferentie}} / \frac{\text{elektriciteitsproductie}}{\text{rendement}_{elektriciteitsproductiereferentie}}$$

In de tweede en derde kolom worden op dezelfde wijze de CO₂ en verzurende emissies bepaald. Een negatief getal in deze kolommen duidt op een toename van brandstofverbruik en/of emissies.

In de vierde kolom staan de kosten die de gebruiker jaarlijks kwijt is aan energie. Deze bestaan enerzijds uit de tarieven voor verbruikte energie, vastrecht, aansluitbijdrage etc. en anderzijds uit de kosten van installaties en eventuele vraagbeperkingsmaatregelen.

De vijfde kolom geeft de kosten aan van het distributiebedrijf. Aan de kostenkant staan hier de kosten van infrastructuur en de kosten van energie-inkoop bij Gasunie/Sep. In het geval van warmtedistributie zitten hier ook de kosten bij van de conversie-installatie. Aan de opbrengstenkant staan de door de gebruikers betaalde tarieven en de eventuele opbrengst van elektriciteitsproductie. Een negatief getal duidt erop dat de inkomsten uit de tarieven hoger zijn dan de kosten van distributie/inkoop.

B I J L A G E C .

ACHTERGRONDINFORMATIE

De consequenties van de keuze voor de technologieën worden gepresenteerd voor zowel energie, CO₂, verzuring als kosten. Voor al deze aspecten wordt de index van de referentie op 100 gesteld. Hiermee zou de suggestie gewekt kunnen worden, dat de aspecten ten opzichte van elkaar allen precies even zwaar tellen. Dit is echter geenszins het geval. Een eenduidige weging van deze aspecten ten opzichte van elkaar is echter niet mogelijk en gedeeltelijk subjectief. In dit hoofdstuk wordt enkele aanvullende informatie gepresenteerd voor de energie- en milieu-aspecten om de lezer de gelegenheid te geven voor zichzelf een beter onderbouwde afweging te maken. Bij de overzichten wordt kort aangegeven wat ieder aspect inhoudt en wat het aandeel van de sector huishoudens is voor dat betreffende aspect.

Energie

Naast het feit dat het gebruik van energie effecten voor het milieu heeft, leidt het er ook toe dat de voorraden van de verschillende energiedragers verminderen. Deze voorraden zijn eindig en hoe minder we nu gebruiken des te langer gaan deze voorraden mee. De wereldvoorraden van de verschillende primaire energiedragers kunnen het best worden geïllustreerd aan de hand van hoe lang de huidige bewezen voorraden nog mee zouden gaan bij het huidige verbruik. Op wereldniveau ligt deze termijn voor olie op ruim 40 jaar, voor aardgas op bijna 70 jaar, voor kolen op ruim 200 jaar. Voor binnenlands aardgas ligt deze termijn op circa 25 jaar. Het energieverbruik in Nederland zag er in 1995 als volgt uit:

PetaJoule	Kolen	Olie	Aardgas	Elektr.	Overig	Totaal
<i>Vraag</i>						
Huishoudens	0	6	361	71	7	445
Industrie	86	354	420	107	68	1035
Transport	0	413	0	5	0	418
Overig	8	60	309	84	17	478
<i>Aanbod</i>						
Elektriciteitsproductie	269	11	288	-230	-13	325
Overig aanbod	15	168	72	5	4	264
<i>Totaal</i>	378	1011	1451	43	82	2965
aandeel huishoudens	0%	0,6%	25%			15%

Een positief getal in bovenstaande tabel duidt op verbruik van de energiedrager, en negatief getal duidt erop dat de energiedrager wordt geproduceerd. Bij de elektriciteitsproductie wordt dus 269 PJ kolen ingezet, 11 PJ olie en 288 PJ aardgas. er wordt 230 PJ elektriciteit geproduceerd en 13 PJ overige energiedragers (deze laatste post is het saldo van het gebruik van uranium en duurzame energie enerzijds en de productie van warmte anderzijds).

Het aandeel van de huishoudens in het nationale energieverbruik bedraagt 15%. Als de geleverde elektriciteit wordt teruggerekend naar primaire bronnen bedraagt het aandeel 18,4%. Per huishouden in Nederland bedraagt de gemiddelde vraag circa 85

GigaJoule. Voor de woningen zoals die in het land over de Waal worden gebouwd wordt een gemiddelde vraag van rond de 50 GigaJoule voorzien.

CO₂-emissie

CO₂ draagt bij aan het versterkte broeikaseffect. Een toename van de CO₂-concentratie in de atmosfeer zorgt ervoor dat de warmte van de zon die op aarde aankomt minder makkelijk wordt gereflecteerd; er ligt als het ware een wollen deken om de aarde. Dit leidt ertoe dat de gemiddelde temperatuur op aarde waarschijnlijk zal gaan stijgen. Dit kan op zijn beurt weer leiden tot veranderingen in het klimaat en wellicht ook tot een stijging van de zeespiegel. Naast overstromingen en het vaker voorkomen van stormen/orkanen kan dit er bijvoorbeeld ook toe leiden dat grond niet meer geschikt is om er de nu gebruikelijke landbouwgewassen op te verbouwen. Dit effect is nog niet met zekerheid bewezen en als het optreedt zal dit pas over een lange periode merkbaar zijn.

De CO₂-emissie hangt samen met de gebruikte energiedrager. De emissie bij de verbranding van 1 energie-eenheid kolen is ongeveer 1,7 keer zo groot als die van een zelfde energiehoeveelheid gas.

De emissie van CO₂ ten gevolge van het verbruik van fossiele brandstoffen bedroeg in Nederland in 1995 186 Mton. Dit is iets minder dan 1% van de wereldemissie van CO₂.

Deze 186 Mton was als volgt verdeeld over de sectoren:

Huishoudens	21,9 Mton
Industrie	51,1 Mton
Transport	33,1 Mton
Overige afnemers	21,5 Mton
Raffinaderijen	13,4 Mton
Energiesector	44,9 Mton

Het aandeel van de huishoudens bedraagt dus een kleine 12% van de totale CO₂-emissie. Als de emissie van de elektriciteitsproductie ook wordt toegerekend komt het aandeel uit op ongeveer 18%. Per huishouden in Nederland bedraagt de gemiddelde CO₂-emissie circa 5,3 ton.

Verzuring

De emissie van SO₂ en NO_x leidt tot een verzuring van het milieu. De derde belangrijke emissie voor verzuring is ammoniak. Dit komt voornamelijk vrij bij de landbouw, maar is niet aan de energievoorziening gerelateerd. Verzuring betekent dat natuur wordt aangetast, maar ook monumenten en gebouwen. SO₂ komt vrij bij het verstoken van olie en kolen, NO_x komt vrij bij het verstoken van alle drie de fossiele energiedragers. De hoeveelheid NO_x die vrijkomt bij het verstoken van fossiele brandstoffen hangt vooral samen met de vlamtemperatuur. Hoe hoger deze temperatuur, des te meer NO_x. Omdat bij elektriciteit hoge temperaturen nodig zijn om een hoog rendement te bereiken (hetgeen leidt tot energiebesparing en CO₂-reductie), levert dit juist relatief meer verzuring op. Het effect op verzuring van de verzurende stoffen wordt gemeten in zuur-equivalenten. De totale emissie in 1995 was 25 miljard zuur-equivalenten. Deze was als volgt verdeeld over de sectoren:

Huishoudens	0,9 miljard z-eq
Industrie	2,7 miljard z-eq
Transport	8,2 miljard z-eq

Overige afnemers	9,0 miljard z-eq
Raffinaderijen	2,3 miljard z-eq
Energiesector	1,9 miljard z-eq

Het aandeel van de huishoudens in de verzurende emissies bedraagt dus ongeveer 3,5%. Indien de elektriciteit wordt toegerekend komt dit aandeel rond de 4%. De belangrijkste bronnen zijn de landbouw en het verkeer. Per huishouden in Nederland bedraagt de gemiddelde verzurende emissie 140 zuur equivalenten.