

University of Groningen

Perspectief op een optimale en duurzame energie-infrastructuur op een decentraal niveau

Benders, R.M.J.; Jong, P. de; Moll, H.C.; Meijer, A.; Eenkhoorn, R.; Noorman, K.J.

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:
2004

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Benders, R. M. J., Jong, P. D., Moll, H. C., Meijer, A., Eenkhoorn, R., & Noorman, K. J. (2004). Perspectief op een optimale en duurzame energie-infrastructuur op een decentraal niveau., s.n..

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

**Perspectief op een optimale en duurzame
energie-infrastructuur op een decentraal niveau.**

R.M.J. Benders

P. de Jong

H.C. Moll

A. Meijer

R. Eenkhoorn

K.J. Noorman

IVEM-onderzoeksrapport nr. 112
Groningen, februari 2004

Rijksuniversiteit Groningen
IVEM, Centrum voor Energie en Milieukunde
Nijenborgh 4
9747 AG Groningen

Tel. 050-3634609
Fax 050-3637168
Homepage: <http://www.rug.nl/ees/>

ISBN 90 367 1988 7

INTRODUCTIE	7
DEEL I: SYSTEEMANALYSE	9
1 INLEIDING	11
2 DOELSTELLING	13
3 SYSTEEMANALYSE	15
3.1 INTERNATIONAAL	15
3.1.1 <i>Energie en de vrije markt</i>	15
3.1.2 <i>Elektriciteitimport</i>	17
3.1.3 <i>Emissierechten</i>	17
3.1.4 <i>Wereldmarktenergieprijzen</i>	17
3.1.5 <i>Elektriciteitgebruik</i>	18
3.1.6 <i>Toekomstige ontwikkelingen</i>	18
3.2 NATIONAAL	19
3.2.1 <i>Meerjaren afspraken van de energiesector</i>	19
3.2.2 <i>Warmtekrachtkoppeling (WKK)</i>	20
3.2.3 <i>Energieprestatienorm (EPN)</i>	20
3.2.4 <i>Het nieuwe belastingstelsel</i>	21
3.2.5 <i>Subsidies</i>	22
3.2.6 <i>Duurzame energie</i>	24
3.2.7 <i>CO₂-opslag</i>	27
3.2.8 <i>Lange termijn verwachtingen voor de energievoorziening</i>	27
3.3 LOKAAL: DE WIJK	28
3.3.1 <i>Geologische en hydrologische kenmerken</i>	28
3.3.2 <i>Klimatologische kenmerken</i>	29
3.3.3 <i>Inrichting van de wijk</i>	30
3.3.4 <i>Collectieve verwarmingssystemen</i>	31
3.3.5 <i>Infrastructuur</i>	34
3.3.6 <i>Toekomstige ontwikkelingen</i>	35
3.4 DE WONING	36
3.4.1 <i>Warmtevraag</i>	36
3.4.2 <i>Resterende energievraag</i>	39
3.4.3 <i>Warmteoverdracht</i>	40
3.4.4 <i>Energie-aanbod</i>	41
3.4.5 <i>Duurzame energie</i>	43
3.4.6 <i>Toekomstige ontwikkelingen</i>	44
4 CONCLUSIES	47
4.1 INTERNATIONAAL	47
4.2 NATIONAAL	47
4.3 LOKAAL: DE WIJK	47
4.4 DE WONING	48
4.5 SLOTOPMERKINGEN	48
REFERENTIES	49
BIJLAGE A: WARMTEVERLIESBEREKENINGEN	53
BIJLAGE B: EPN	55
BIJLAGE C: VERWARMINGSTECHNIEKEN	57
DEEL II: CASE 1	63
1 INLEIDING	65

1.1	KADER	65
1.2	DOEL VAN HET DEELPROJECT	65
1.3	IDENTIFICATIE VAN DE CASE	66
1.4	OPBOUW VAN DIT DEEL	67
2	AMBITIES VAN POELGEEST	69
2.1	INLEIDING	69
2.2	AMBITIE.....	70
3	DE AANPAK.....	73
3.1	ALGEMEEN	73
3.2	STAPPENSHEMA	73
3.3	NADERE UITWERKING VAN HET STAPPENSHEMA VOOR POELGEEST.....	74
3.3.1	<i>Inventarisatie</i>	74
3.3.2	<i>Selectie van opties</i>	75
3.3.3	<i>Kiezen van een concept, ontwikkelen van varianten</i>	76
3.3.4	<i>Uitwerken varianten</i>	77
3.3.5	<i>Toetsing varianten</i>	80
4	HET KEUZEPROCES.....	85
5	SAMENVATTING EN CONCLUSIES	89
5.1	WAAROM DEZE DEELSTUDIE?	89
5.2	HET AMBITIENIVEAU IN POELGEEST.	89
5.3	NAAR REALISATIE VAN DE AMBITIES: HET PROCES EN DE PARTIJEN	89
5.4	KARAKTERISTIEKEN VAN HET SYSTEEM	90
5.5	LOCATIESPECIFIEKE INVLOEDEN	91
5.6	SAMENVATTENDE CONCLUSIES	91
	REFERENTIES	93
	BIJLAGE A	95
	DEEL III: MODELBESCHRIJVING.....	105
1	INLEIDING.....	107
2	HET MODEL	109
3	MODELBESCHRIJVING.....	111
3.1	INTERNATIONAAL	111
3.2	NATIONAAL	112
3.3	LOKAAL: DE WIJK	112
3.4	DE WONING.....	114
4	CONCLUSIES.....	117
	REFERENTIES	119
	BIJLAGE A: DE RELATIE TUSSEN VLOEROPPERVLAK EN DE WARMTEVRAAG.....	121
	BIJLAGE B: MODELSHEMA	123
	DEEL IV: CASE 2	129
1	INLEIDING.....	131
2	CASESTUDIE II.....	133
2.1	SELECTIECRITERIA	133

2.2	ENERGIECONCEPTEN DEELGEBIED TERWIJDE LOCATIE LEIDSCHER RIJN	134
2.2.1	<i>Uitgangspunten</i>	134
2.2.2	<i>Concept 1: Warmtenet & elektriciteit (huidige situatie)</i>	136
2.2.3	<i>Concept 2: Aardgas & elektriciteit (conventioneel)</i>	136
2.2.4	<i>Concept 3: Elektriciteit & individueel elektrische warmtepomp</i>	137
3	RESULTATEN	139
3.1	WARMTENET & ELEKTRICITEIT	139
3.2	AARDGAS & ELEKTRICITEIT	140
3.3	ELEKTRICITEIT & INDIVIDUELE WARMTEPOMP	142
3.4	VERGELIJKING ENERGIECONCEPTEN WIJK	143
3.4.1	<i>Energievraag en duurzame productie wijk</i>	143
3.4.2	<i>Energieprestatie woningen</i>	144
3.4.3	<i>Kosten</i>	145
3.4.4	<i>Emissie CO₂</i>	147
3.5	CONCLUSIE	148
3.6	DISCUSSIE.....	148
3.6.1	<i>Oppervlak plangebied</i>	148
3.6.2	<i>Lengte Transportleiding Warmte</i>	149
3.6.3	<i>Oriëntatie woningen</i>	149
3.6.4	<i>Gebruiksoppervlak woningen</i>	149
3.6.5	<i>STEG-centrale versus Industriële restwarmte</i>	150
	REFERENTIES	152
	BIJLAGE A	154
	DEEL V: MODELHANDLEIDING EN ACHTERGROND.....	161
1	INLEIDING.....	163
2	EVALUATIE.....	165
2.1	TERUGKOPPELING NAAR DE EISEN	165
2.1.1	<i>Vergelijking</i>	165
2.1.2	<i>Sterke punten</i>	168
2.1.3	<i>Zwakke punten</i>	168
2.1.4	<i>Aanbevelingen</i>	168
2.2	MODELANALYSE WARMTENET	169
2.3	SLUIT HET MODEL AAN BIJ DE PRAKTIJK	170
2.4	HOE NU VERDER	171
3	HET MODEL: DE 'BLACK BOX'	173
3.1	DE WONING.....	174
3.1.1	<i>Het opschalen van de referentie woning</i>	174
3.1.2	<i>De warmtebalans</i>	175
3.1.3	<i>Apparatuur</i>	176
3.1.4	<i>EPC</i>	181
3.1.5	<i>Duurzame energie</i>	181
3.2	DE ENERGIEZONE.....	182
3.2.1	<i>Warmtevraag</i>	183
3.2.2	<i>Leidingverliezen in het warmtenetwerk</i>	183
3.2.3	<i>Netwerkkeuze</i>	185
3.2.4	<i>De installatie</i>	185
3.2.5	<i>Duurzame energie</i>	186
3.3	DE WIJK	186
3.3.1	<i>Leidingnetwerken</i>	187
3.3.2	<i>De energiecentrale</i>	188
3.3.3	<i>Duurzame energie</i>	189
4	KOSTEN.....	191

4.1	INLEIDING	191
4.2	DISTRIBUTIESYSTEEM	191
4.2.1	<i>Elektriciteit</i>	192
4.2.2	<i>Aardgas</i>	193
4.2.3	<i>Warmte</i>	194
4.2.4	<i>Waterstof</i>	196
4.2.5	<i>Aardgas met maximaal 15% waterstof bijgemengd</i>	198
4.3	APPARATEN, ISOLATIE EN ANDERE VOORZIENINGEN	199
4.3.1	<i>Hotfill-aansluiting en gasstopcontact</i>	199
4.3.2	<i>Warmte afgiftesysteem woning</i>	199
4.3.3	<i>PV-panelen</i>	200
4.3.4	<i>Zonnecollectoren</i>	201
4.3.5	<i>Installatie woning</i>	202
4.3.6	<i>Energieopslag</i>	204
4.3.7	<i>Ventilatiesystemen</i>	206
4.3.8	<i>Windturbines</i>	207
4.3.9	<i>Isolatie woning</i>	207
4.3.10	<i>Wkk-gasmotor</i>	209
4.3.11	<i>Collectieve elektrische warmtepomp</i>	209
4.3.12	<i>CO₂-opslag</i>	210
5	HANDLEIDING	213
5.1	INSTALLATIE EN BESTANDEN	213
5.2	LEESWIJZER	213
5.3	INVOER	213
5.4	UITVOER	219
	REFERENTIES	227
	BIJLAGE A: BEREKENING MINIMALE LENGTE WARMTENET.....	231
	BIJLAGE B: RELATIE TUSSEN KOSTEN EN ISOLATIE VAN DRIE TYPE WONINGEN. ..	233
	BIJLAGE C: ACHTERGRONDINFORMATIE TARIEFSTRUCTUUR WARMTENETTEN WONINGBOUW	235
	BIJLAGE D: OVERZICHT KOSTEN VOORGEÏSOLEERDE LEIDINGEN LOGSTOR- PROGRAMMA	237
	BIJLAGE E: OVERZICHT KOSTEN VERWARMINGSTOESTELLEN.....	241
	BIJLAGE F: OVERZICHT RELATIE KOSTEN EN BOILER INHOUD	243
	BIJLAGE G: OVERZICHT UITGANGSPUNTEN EN KOSTEN ISOLATIEPAKKETTEN.....	245

Introductie

Onderliggend document is de rapportage over een project uitgevoerd in het kader van het Programma Nieuwe EnergieConversie-Systemen en –Technologieën (NECST) vallende binnen de Uitvoeringsregeling: Besluit Subsidies Energieprogramma's (BSE) en gesubsidieerd via de NOVEM. De titel van dit project is: Perspectief op een optimale duurzame energie-infrastructuur op decentraal niveau. Het onderzoek in dit project richt zich op het ontwerpen en toepassen van een model voor de beoordeling van het energievoorzieningsysteem voor de gebouwde omgeving waarbij de wijk als uitgangspunt wordt genomen. Dit rapport onderverdeeld in 5 delen.

In deel I wordt de systeemanalyse beschreven. Hierin wordt onderscheid gemaakt naar 4 schaalniveau's te weten internationaal, nationaal, de wijk en de woning. Aan de hand van een case studie van de wijk Poelgeest in Oegstgeest wordt in deel II de nodige ervaring en inzicht verkregen om een model te maken dat ook daadwerkelijk aansluit bij de behoefte van degene waar het model voor bestemd is. In deel III worden de ideeën opgedaan bij de systeemanalyse en de eerste case studie verwerkt tot een formeel model. Dit model is vervolgens geïmplementeerd. In deel IV staan de resultaten van de tweede case-studie beschreven. Hierin worden plannen voor het deelgebied Terwijde in de wijk: Leidsche Rijn met het model doorgerekend. In deel V tenslotte staat de achtergrond van het model beschreven samen met een gebruikershandleiding.

Deel I: Systemanalyse

1 Inleiding

In dit deel wordt het resultaat gerapporteerd van een systeemanalyse. In hoofdstuk 2 wordt de doelstelling van de systeemanalyse verder besproken. De systeemanalyse is gericht op het energievoorzieningsstelsel voor een wijk waarbij huidige en toekomstige ontwikkelingen en de diverse actoren uit verschillende schaalniveaus worden beschouwd op hun mogelijke interactie op het schaalniveau van onderzoek: de wijk.

Onder schaalniveau verstaan we in de context van dit onderzoek een geografisch/bestuurlijke eenheid waarbinnen beslissingen genomen worden.

De beschouwde schaalniveaus zijn:

- Internationaal
- Nationaal
- Lokaal (de wijk)
- Woning

Deze schaalniveaus worden in hoofdstuk 3 verder uitgewerkt. De opbouw van de 4 paragrafen in dit hoofdstuk volgen een min of meer chronologische lijn. Elke paragraaf begint met een beschrijving van het heden, vervolgens worden de ontwikkelingen in de nabije en verder gelegen toekomst beschreven.

2 Doelstelling

Onder een energievoorzieningsstelsel wordt hier het complex van energieconversietechnologieën aan de opwek- en aan de vraagkant, de opslag van energie en de verbindende energie-infrastructuur verstaan.

De doelstelling van dit project valt in drie delen uiteen: systeembeschrijving en modellering, toepassing, en integrale beoordeling. Elk deel wordt hier verder toegelicht. Verschillende ontwikkelingen zijn van invloed op de vraag welk energievoorzieningsstelsel optimaal is ten aanzien van energiebesparing en benutting van duurzame energiebronnen op de korte en lange termijn. Relevante ontwikkelingen liggen op het gebied van de toepassing van energie-opwektechnologie zowel centraal als decentraal (warmtekracht, brandstofcellen, benutting lage temperatuurbronnen), van toepassing van duurzame energiebronnen, bij de ontwikkelingen aan de vraagkant van energieconsumenten, en in de regelgeving ten aanzien van nieuwbouw en renovatie (toekomstige normen voor de bouw; de trend naar duurzaam bouwen).

De eerste subdoelstelling is dit complexe stelsel van ontwikkelingen te analyseren en te karakteriseren en op basis daarvan een modelstructuur te ontwerpen waarmee verschillende vormen van inrichting van de energievoorzieningsstelsel voor nieuw in te richten en te renoveren (of te herstructureren) stedelijke gebieden gesimuleerd en beoordeeld kunnen worden.

Een keuze voor optimale energievoorzieningsstelsel kan niet zonder specifieke kennis van een locatie gemaakt worden. In de modelstructuur zullen allereerst locatie specifieke aspecten een belangrijke plaats krijgen. Daarnaast zal de toepasbaarheid en de goede werking van het model geverifieerd moeten worden in projectgerichte casestudies (b.v. VINEX-locaties).

De tweede subdoelstelling is een in de praktijk toepasbaar en bruikbaar stelsel te ontwikkelen voor het ontwerpen en beoordelen van energiebesparingpotentiëlen van een energievoorzieningsstelsel ten behoeve van stedelijke vernieuwings- en uitbreidingsprojecten.

Het energievoorzieningsstelsel legt de mogelijkheden voor het gebruik van energie in een gebied en daarmee het gedrag van de bewoners en bedrijven voor een aanzienlijke periode vast. Dit betekent dat naast energiebesparing die op de korte termijn haalbaar kan zijn, ook de gevolgen van lange termijn ontwikkelingen meegewogen moeten worden. Tevens zijn hierbij de relaties tussen centrale en decentrale systemen van belang.

De derde subdoelstelling heeft als doel de doorwerking van decentrale energiebesparing en benutting van duurzame bronnen op de korte termijn naar het centrale niveau op de lange termijn in de afweging te betrekken.

3 Systemanalyse

Verskillende ontwikkelingen zijn van invloed op de vraag welk energievoorzieningsstelsel optimaal is ten aanzien van energiebesparing en benutting van duurzame energiebronnen op de korte en lange termijn. Deze ontwikkelingen grijpen in op de hierboven reeds genoemde schaalniveaus. In dit deel zal het systeem van energieproductie en -consumptie op deze schalen geanalyseerd worden: internationaal-, nationaal-, lokaal- en op woningniveau. Aan het eind zal worden aangegeven welk van deze ontwikkelingen ook daadwerkelijk van invloed zijn voor dit onderzoek.

Het regionale niveau wordt niet besproken, omdat op dat niveau niet veel beslissingen worden genomen op het gebied van de energievoorziening.

3.1 Internationaal

Op internationaal niveau spelen een drietal zaken omtrent de energievoorziening. De liberalisatie van de energiemarkt binnen Europa, de milieuafspraken die gemaakt zijn in Kyoto en de wereldmarkt energieprijzen. Deze worden beide via wet- en regelgeving vanuit Brussel naar de lidstaten omgezet tot beleid in die lidstaten.

In deze paragraaf worden eerst de zaken die samenhangen met de liberalisatie besproken. Dit zijn de vrije markt voor energie en de zaken die daar mee samenhangen, zoals import en export van energiedragers. Hierna worden een aantal maatregelen aangestipt die op het internationale niveau kunnen bijdragen aan het halen van de Kyoto-doelstellingen en als laatste komen de energieprijzen aanbod.

3.1.1 Energie en de vrije markt.

Aan de hand van een aantal Europese richtlijnen worden in alle EU-landen de elektriciteits- en aardgasmarkt geliberaliseerd. Dit heeft tot gevolg gehad, dat de grootverbruikers van elektriciteit hun stroom vrij kunnen inkopen. Ook de kleingebruikers in Nederland kunnen op termijn hun energie vrij inkopen. Het tijdschema van het vrijgeven van de markt voor elektriciteit en gas voor de verschillende gebruikers staat in Tabel 1

Tabel 1: tijdschema intrede op vrij markt voor de diverse gebruikerscategorieën

Elektriciteit	Categorie	wettelijk criterium	Vrij per
	Bijzondere grootverbruikers	gecontracteerd vermogen > 2 MW	1 augustus 1998
	grootverbruikers (=ca. 45 kW)	Aansluitwaarde > 3*80 A	1 januari 2001
	kleinverbruikers	geen	1 januari 2004
Gas	categorie	wettelijk criterium	vrij per
	bijzondere grootverbruikers	> 10 mln m ³ /jaar	1 januari 2000
	grootverbruikers	> 170.000 m ³ /jaar	1 januari 2002
	Kleinverbruikers	Geen	1 januari 2004

Bron: [www: Gasunie 2000;www: Tennet 2001].

Doordat de gebruiker zijn energie vanaf de hierboven staande data niet meer verplicht bij het regionale energiebedrijf hoeft in te kopen, is het ook mogelijk dat hij dit bij een leveringsbedrijf (of handelsbedrijf) in het buitenland doet.

Wanneer hij dit in het buitenland doet, heeft dat tot gevolg dat het park, waarmee deze stroom opgewekt wordt, verandert. Stroom uit bijvoorbeeld Frankrijk of België wordt veelal met nucleaire centrales opgewekt, terwijl stroom uit Noorwegen vooral met waterkracht opgewekt wordt. In Duitsland staan nog veel elektriciteitscentrales die op bruinkool gestookt worden. De eerste twee voorbeelden leveren een lagere CO₂ uitstoot, terwijl de uitstoot van CO₂ van de bruinkool centrales veel hoger is, dan van gasgestookte centrales. Bovendien heeft het gevolgen voor het rendement waarmee de elektriciteit is opgewekt. Hierdoor verandert de hoeveelheid primaire energie die nodig is geweest voor het opwekken van 1 kWh elektriciteit.

Een andere onzekerheid bij de geïmporteerde stroom is de toerekening van de CO₂-uitstoot. Er gaan stemmen op om deze uitstoot bij geïmporteerde elektriciteit niet mee te rekenen bij de Nederlandse CO₂-uitstoot, zodat het eenvoudiger wordt de Kyoto doelstellingen te halen. [Baeten 2000a] Dit kan weer invloed hebben op de besluitvorming omtrent de hoeveelheid te importeren stroom.

Ook de transportverliezen voor zowel gas als elektriciteit zullen veranderen, wanneer elektriciteit en gas geïmporteerd worden. Over het algemeen zullen deze verliezen bij toenemende transportafstand toenemen. Wanneer bijvoorbeeld gas uit Rusland gaat komen zal dat grote invloed hebben op de verliezen tijdens het transport, omdat daar een veel grotere hoeveelheid (5-7%) dan in Nederland (0,1-0,3%) weglekt uit de transportleidingen [Hirsch en Targulian 2000].

Verder wordt verwacht dat door toenemende concurrentie de prijzen van energie zullen gaan dalen. Dit blijkt uit de landen die voorlopen in de liberalisering van hun energiemarkt, zoals Engeland, Duitsland en Scandinavië. In Duitsland zijn bijvoorbeeld in 1999 in sommige marktsegmenten verlagingen van de elektriciteitsprijzen tot 25 procent voorgekomen [Koevoet 1999]. In Groot-Brittannië wordt door sommige bedrijven een korting van 20% op gas en 17% op elektriciteit gegeven t.o.v. de traditionele leveranciers [www: Energiemanagement 2000c].

Door overproductie samen met de lage prijzen van elektriciteit is de eerste atoom centrale in Duitsland vervroegd gesloten. De elektriciteitsproducent E.On Energie wil nog eens 3.800 MWh van het net halen en 1000 MWh aan productie in de mottenballen te zetten. Hierdoor zal het productiepark versneld veranderen [Energie Nederland 2000].

Aan de andere kant wordt vanuit de VS gemeld, dat de stroomprijs in Californië door schaarste sterk gestegen is. Dit komt onder andere doordat er op de vrije markt minder snel nieuwe centrales bijgebouwd worden. Een ander effect van de vrije markt daar is het vaker voorkomen van stroomstoringen [Energietechniek 2000c].

Ook de gasprijzen gaan niet per definitie naar beneden. In Engeland is de gasprijs eind 2000 hoog. Nog extremer is het in Californië, waar de gasprijs op de groothandelsmarkt door koude, lage voorraden en een gebroken leiding op 4,20 gulden staat [www: Energiemanagement 2000b].

De verwachting is dat, in ieder geval op korte termijn voor grootverbruikers de liberalisatie van de energiemarkt een gunstig effect op de prijzen zal hebben. Mogelijk komt dit doordat de oude infrastructuur nog bestaat waarmee zonder al te grote investeringen concurrerend geproduceerd kan worden. Wanneer je echter kijkt naar een land als de Verenigde Staten, dan blijkt zoals in het voorbeeld van Californië, dat op de lange termijn de prijzen weer kunnen gaan stijgen. Het is mogelijk dat dit veroorzaakt wordt, doordat grote investeringen, zoals nieuwe elektriciteitscentrales in de vrije markt, op de korte termijn vaak niet rendabel genoeg zijn, waardoor er gebrek aan capaciteit ontstaat.

Een bijkomend negatief aspect van de liberalisatie is dat er geen ruimte meer is voor experimenten op bijvoorbeeld milieukundige redenen alleen. Een duidelijk voorbeeld hiervan is de kolenvergassingsinstallatie in Buggenum (Demkolec). Dit is een proefproject om te kijken of het mogelijk is om op een milieuverantwoorde manier kolen te verbranden.

3.1.2 *Elektriciteitimport*

Nederland is een grote importeur van elektriciteit. We importeerden netto ruim 18 TWh in 1999 uit het buitenland [Tennet 2000]. Het maximale vermogen dat geïmporteerd kan worden, is 3500 MW. Hiervan is 900 MW beschikbaar als vrije import capaciteit. Dit komt doordat het grootste gedeelte (2300 MW) gebruikt wordt voor oude importcontacten van de productiebedrijven. Een ander deel (300 MW) wordt in verband met eventuele calamiteiten op reserve gehouden. In de praktijk is echter overdag maar 300 MW en 's nachts soms helemaal niets aan importcapaciteit beschikbaar [Energietechniek 2000b]. Hierdoor kan niet onbeperkt goedkope stroom uit het buitenland worden geïmporteerd.

TenneT, de beheerder van het landelijke hoogspanningsnet, probeert aan deze beperking het één en ander te doen. Sinds oktober 2000 heeft de Staat de aandelen van TenneT overgenomen van de Sep (N.V. Samenwerkende elektriciteitsproductiebedrijven). Hierbij hebben de productiebedrijven beloofd zo snel mogelijk 600 MW extra importcapaciteit beschikbaar te maken [www: Tennet 2001].

Ook wordt de verdeling van importstroom vanuit Duitsland verbeterd. Hierdoor gaat de importcapaciteit medio 2002 met ongeveer duizend MW toenemen. [Energie Nederland 2000]

In een antwoord op schriftelijke vragen van het lid van de Tweede Kamer Akker (CDA) op 11 februari 1999 aan de minister van Economische Zaken verwacht de minister dat in de toekomst meer importcapaciteit beschikbaar komt, doordat er geen belemmeringen meer zijn voor de export. Als meer elektriciteit geëxporteerd wordt, kan namelijk ook meer geïmporteerd worden [www: DTE 1999].

3.1.3 *Emissierechten*

Om de Kyoto doelstellingen in een vrije markt te kunnen halen, zijn verschillende instrumenten te gebruiken. Eén daarvan is handel in emissierechten. Dit houdt in, dat een bedrijf of sector een bepaald quotum krijgt, dat hij aan CO₂ of andere vervuulende stoffen mag uitstoten. Deze rechten zijn vrij verhandelbaar. Indien het quotum niet opgebruikt wordt, mogen de rechten verkocht worden. Als er meer uitstoot dreigt, dan er aan quotum is, kunnen emissierechten gekocht worden. Hierbij zorgen vraag en aanbod voor de prijsstelling van de emissierechten.

De Europese Commissie heeft het voornemen om in 2005 zo'n systeem op te zetten voor de handel in emissierechten. Dit als voorbereiding op een internationaal handelstelsel. Dit zal zeker invloed gaan hebben op de allocatie van CO₂-uitstoot door de elektriciteitsindustrie, wat indirect weer invloed heeft op het primaire elektriciteitsgebruik door de industrie [Energie Nederland 2000].

3.1.4 *Wereldmarktenergieprijzen*

De Energiecrises van 1973 en 1979 deden de energiewereld op hun grondvesten schudden. De daarna volgende prijsexplosie tussen 1980 en 1985 hadden tal van initiatieven op het gebied van energiebesparing als gevolg. De energiecrises en de prijsexplosie gold eigenlijk alleen voor olie maar daar de gasprijs gekoppeld is aan deze olieprijs werkt deze ook bij ons op alle fronten direct door. Uit de schommelingen van

de wereldmarkt olieprijsen blijkt dat deze niet als een gegeven beschouwd mag worden. Economische analyses van de energie-infrastructuur zullen hier dus rekening mee moeten houden.

3.1.5 *Elektriciteitsgebruik*

Ondanks dat elektrische huishoudelijke apparatuur de afgelopen 20 jaar aanzienlijk efficiënter geworden is, heeft dit niet geleid tot een daling van het totale gemiddelde elektriciteitsverbruik. Integendeel, het elektriciteitsverbruik nam in deze periode toe met ca. 1,8%/jr. Deze stijging hangt samen met een sterk groeiende penetratie van (nieuwe) elektriciteitsverbruikende apparaten. Een deel van die stijging wordt veroorzaakt door de vele elektrische apparaten die energie gebruiken, ook als ze niet in bedrijf zijn (bijvoorbeeld “stand by”). Voorbeelden hiervan zijn: televisie- en geluidsapparatuur, satellietontvangers en decoders, computerapparatuur, faxapparaten en draadloze telefoons.

Om deze toename te remmen wordt efficiëncynormering, op Europees niveau toegepast langs twee wegen: via wetgeving en vrijwillige afspraken. Europese wetgeving is geformuleerd voor koel- en vriesapparatuur. Voor het stand-by verbruik van tv en video hebben Europese fabrikanten zelfregulering toegepast. Voor wasmachines is een convenant in voorbereiding. De Europese Commissie is voornemens het convenant met betrekking tot het stand-by verbruik van tv en video goed te keuren na toetsing aan de mededingingsregels [Ministerie van economische zaken 1998].

3.1.6 *Toekomstige ontwikkelingen*

Een brandstof waarvan men voor de toekomst een oplossing voor het versterkte broeikaseffect verwacht is waterstof. Bij verbranding van waterstof komt namelijk geen CO₂ vrij. Verder is het in ruime mate voorradig in de vorm van water. Om hieruit waterstof te winnen, is echter energie nodig. Ook kan waterstof uit fossiele brandstoffen gewonnen worden. Hierbij komt echter wel CO₂ vrij.

In de toekomst zal het misschien mogelijk zijn om duurzaam geproduceerd waterstof te importeren. Deze waterstof zou dan geproduceerd moeten worden, met bijvoorbeeld waterkracht uit Noorwegen of zonne-energie uit Spanje. Deze waterstof kan op de lange termijn puur als brandstof gebruikt worden. Dit heeft als nadeel, dat de infrastructuur en branderapparatuur aangepast moet worden.

Op kortere termijn is het ook mogelijk om waterstof met aardgas te mengen. Dit kan tot 15 volumepercent zonder dat er aanpassingen aan de gebruikers kant gedaan hoeven te worden. Dit levert een forse reductie op in CO₂ uitstoot.

Verder is het mogelijk om waterstof uit aardgas te maken. Hierbij kan de CO₂ die vrijkomt opgeslagen worden in lege aardgasvelden. Het gebruik van primaire energiebronnen neemt hierdoor enigszins toe, doordat het omzettingsrendement niet 100% is, maar het versterkte broeikaseffect kan er wel mee verminderd worden.

Op het moment doet ATO (Agro Technologisch Onderzoek) uit Wageningen met andere partijen onderzoek naar waterstofwinning uit biomassa. De productiekosten hiervan liggen iets lager dan voor waterstofwinning uit andere kleinschalige processen [Baeten 2000b].

Mede door de liberalisering van de gasmarkt zijn projecten op het gebied van waterstof echter op een laag pitje gezet [Bergsma en Croezen 2000].

3.2 Nationaal

Net als op het internationale niveau spelen ook op het nationale niveau de liberalisering van de energiemarkt en de Kyoto-afspraken een grote rol in de vorming van het toekomstige energievoorzieningsstelsel.

De liberalisering van de elektriciteitsmarkt en gasmarkt heeft tot gevolg dat de gebruiker zijn energie bij een andere producent kan gaan inkopen. Hierdoor zullen de prijzen van energie waarschijnlijk gaan dalen. Dit heeft weer een negatief effect op het invoeren van energiebesparende maatregelen.

De Europese Unie heeft zich op de wereldklimaatconferentie in Kyoto (1995) verplicht een aantal doelstellingen op milieugebied te halen. Hiervan wordt Nederland geacht een deel voor zijn rekening te nemen. Deze doelstellingen zijn vastgelegd in het Nationaal Milieubeleidsplan 4 (NMP4)[Ministerie van Volkshuisvesting 2000]. Nederland heeft een doelstelling van 33% energiebesparing over de periode 1995-2020 en 10% duurzame energie in 2020. Inzake CO₂-reductie heeft Nederland zich gecommitteerd aan een 6% reductie in 2010 ten opzichte van het referentiejaar 1990. Dit commitment is onderdeel van de internationale Kyoto-afspraken betreffende mondiale CO₂-reductie.

Om deze doelstellingen te halen, heeft de overheid een aantal instrumenten tot haar beschikking. Hiervan zijn in het kader van dit project de volgende relevant: Meerjaren afspraken met de energiesector, het belastingstelsel en de energieprestatienorm voor de woningbouw.

Deze instrumenten worden als eerste in dit hoofdstuk besproken. Hierna wordt nader ingegaan op aantal energiebesparende technieken, die gepromoot worden om de energiedoelstellingen te kunnen halen. Als laatste wordt de lange termijn verwachting voor de energievoorziening besproken.

3.2.1 *Meerjaren afspraken van de energiesector*

Het Milieu Actie Plan (MAP) van de energiedistributiesector is een vrijwillige inspanning van de energiebedrijven gezamenlijk om een bijdrage te leveren aan een schoner milieu. Dit willen ze bereiken door het geven van voorlichting en subsidies aan de gebruikerszijde en door drie aandachtsgebieden aan de opwekkingszijde: de warmtemarkt (WKK en warmtedistributie), nieuwe technologieën en duurzame energie. Het MAP loopt van 1990 tot en met 2000 en heeft als doel de CO₂-uitstoot met 17 miljoen ton oftewel 226 PJ energie te verminderen t.o.v. 1990. In 1998 zijn deze doelstellingen voor een aantal sectoren al gehaald en voor een ander deel grotendeels gehaald. De verwachting is dat de doelstellingen gehaald gaan worden [EnergieNed 1998].

Iets wat in het verlengde van het MAP gezien kan worden, is het convenant benchmarking energie-efficiency. Dit is een convenant tussen de overheid en de energie-intensieve bedrijven. Hiertoe behoren ook de elektriciteitsproductiebedrijven, zodat deze afspraken invloed zullen hebben op het primaire energiegebruik van huishoudens.

In het convenant benchmarking energie-efficiency is afgesproken, dat bedrijven die meer dan 0,5 PJ per jaar aan energie gebruiken uiterlijk in 2012 voor wat betreft hun energie-intensieve inrichtingen op het gebied van energie-efficiency blijvend tot de Wereldtop zullen horen om daarmee een maximale bijdrage te leveren aan het realiseren van de nationale CO₂-doelstellingen. Deze wereldtop wordt bepaald door het deciel van de beste procesinstallaties te bepalen, of door binnen tien procent van de energie-

efficiency van de beste installatie te zitten. Eens per vier jaar worden de maatregelen om deze doelstelling te bereiken door een deskundige derde gecontroleerd.

Als tegenprestatie zal de overheid geen verplicht CO₂-emissieplafond, geen aanvullende verplichte energie-efficiency- of CO₂-doelen, geen aanvullende besparingsverplichtingen en geen aanvullende CO₂- of energie-eisen opleggen.

Via Joint Implementation en Clean Development Mechanism mogen ook investeringen in het buitenland in de periode 2008-2012 (deels) meetellen bij het behalen van de doelstellingen voor energie-efficiency [Ministerie van economische zaken 1999a].

3.2.2 *Warmtekrachtkoppeling (WKK)*

Sinds eind jaren tachtig wordt warmtekrachtkoppeling (WKK) sterk gestimuleerd. Dit heeft tot gevolg gehad, dat in 1999 afhankelijk van de definities 20-30% van de elektriciteitsproductie gecombineerd wordt met de productie van warmte. Met WKK kan t.o.v. gescheiden opwekking tot ca 25% aan primaire energiedragers worden bespaard. Vanaf 1993 is echter duidelijk geworden, dat WKK bijdraagt aan een langdurige overcapaciteit op de elektriciteitsmarkt. Begin 1995 wordt daarom door de SEP en EnergieNed een begin gemaakt met het afremmen van de groei van WKK-vermogen door een tijdelijk moratorium. Daarbij zijn investeringssubsidies afgebouwd en de vergoeding voor geleverde elektriciteit verlaagd.

Vanwege de liberalisering van de energiemarkt, waarin een gegarandeerde terugleververgoeding en een verlaagd gastarief voor WKK-installaties niet passen, is de opkomst van WKK gestopt.

In het rapport Toekomst Warmtekrachtkoppeling van het ECN wordt onderzocht of WKK in de toekomst nog wel uit kan [Dril *et al* 1999]. Hiervoor zijn verschillende scenario's gemaakt. Een laag scenario waarin ervan uit gegaan wordt dat de gevolgen van de geliberaliseerde elektriciteitsmarkt relatief ongunstig zijn voor WKK en een hoog scenario met gunstiger omstandigheden. Uit de berekeningen van het ECN kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

Onder het lage scenario zijn de condities voor WKK zeer ongunstig. In het hoge scenario komen de condities voor grootschalige WKK overeen met de marktomstandigheden van 1999. Deze zijn niet overdreven gunstig. Nieuwe segmenten voor kleinschalige WKK in de gebouwde omgeving kunnen mogelijk sterk groeien onder het hoge scenario [Dril *et al* 2000].

Mede door dit rapport en de reactie van de vereniging voor warmtekrachtinstallaties Cogen heeft de regering een aantal stimuleringsmaatregelen voor WKK bekend gemaakt. Deze zijn o.a. een verhoging van de Energie Investeringsaftrek van 40% naar 55%. verder blijft de elektriciteit voor eigen gebruik vrijgesteld van REB. Ook wordt het teruglevertarief met 0,5 cent per kWh verhoogt. Tenslotte zal de toezichthouder een aantal maatregelen nemen, waardoor de voordelen van warmtekracht tot uitdrukking komen in de nettarieven [Energietechniek 2000e].

3.2.3 *Energieprestatienorm (EPN)*

Vanaf 15 december 1995 is aan het bouwbesluit een nieuwe energieparagraaf toegevoegd; alle bouwaanvragen voor nieuwbouw die na deze datum worden ingediend, zullen worden getoetst op energie-efficiëntie. In tegenstelling tot het oude bouwbesluit, waar enkel eisen werden gesteld aan de uitwendige scheidingsconstructie, wordt bij de bepaling van de energieprestatiecoëfficiënt (EPC) ook de mogelijke energiebesparing door technische installaties (ventilatie, verlichting, verwarming enz.) en door benutting van zonnewarmte meegenomen. Hoe lager de EPC hoe energie-efficiënter een woning is. Natuurlijk biedt een lage EPC van een woning geen garantie voor een laag

energiegebruik, want het bewonersgedrag blijft van grote invloed op het energiegebruik.

De energieprestatiecoëfficiënt van een woning moet lager of gelijk aan de energieprestatienorm (EPN) zijn. Deze norm is van 1,4 in 1995 gedaald naar 1,0 in 2000.

Het bestaande EPN-traject zal na 2000 zowel voor woningbouw als de utiliteitsbouw worden voortgezet en nog verder aangescherpt. Gedacht wordt aan een aanscherping in 2004 en mogelijk

in 2008. Deze verdere aanscherping moet in redelijke verhouding staan tot de additionele kosten en technische mogelijkheden. Immers om deze niveaus te halen zullen relatief dure opties, die nu nog niet rendabel zijn, moeten penetreren, zoals warmtepompen en warmteterugwinning. Bij de verdere aanscherping voor de EPN zal nadrukkelijk een relatie worden gelegd met de energiebesparingmogelijkheden op een locatie [Ministerie van economische zaken 1998].

Een motie van 29 november 2000 van het Kamerlid C.S. de Boer om de EPN te verlagen naar 0,6 is door de kamer aangenomen. Wanneer deze van kracht wordt is op dit moment niet duidelijk.

Omdat de kosten voor een zeer hoge energie-efficiëntie van een woning onevenredig gaan toenemen met de energiebesparing, is het beter om niet alleen op woningniveau te kijken maar ook op locatieniveau. Daarom is het programma optimale energievoorziening en –infrastructuur (OEI) in 1997 opgezet door de NOVEM. Hierbij wordt gekeken naar de hele energievoorziening van bijvoorbeeld een wijk. Door bijvoorbeeld de afvalwarmte van industrie in de buurt te gebruiken voor het verwarmen van de woningen, valt veel primaire energie te besparen. Om een cijfer aan de OEI inspanningen te kunnen hangen is de energieprestatie op locatie (EPL) ontwikkeld.

In aanvulling op de EPC, die de energiekwaliteit van één gebouw weergeeft, honoreert de EPL ook maatregelen buiten het gebouw.

De EPL geeft in één getal de energiekwaliteit aan. Het getal geeft aan in hoeverre gebruik wordt gemaakt van energie uit fossiele brandstoffen, en de CO₂-emissie die daarbij optreedt.

Treedt geen CO₂-emissie op, dan is de EPL-waarde 10 de maximaal haalbare waarde. Bepalend voor de EPL-waarde is onder andere de gebouwgebonden energievraag (hiervoor is de EPC-waarde maatgevend). Andere bepalende factoren zijn de gekozen conversietechniek en de inzet van energie uit duurzame bronnen.

Een locatie met een gas- en elektriciteitsnet en met woningen met een EPC-niveau van 1,0 heeft een EPL-waarde van 6,0. Afhankelijk van de inzet van energie uit duurzame bronnen en de toepassing van efficiënte technieken kan de EPL-waarde verbeteren [NOVEM 2000a].

3.2.4 *Het nieuwe belastingstelsel*

De vergroening van het belastingstelsel zal de komende jaren de vraag naar energiebesparing en duurzame energie van een krachtige impuls voorzien. De Regulerende Energiebelasting (REB) moet ervoor zorgen, dat energiebesparingsmaatregelen en duurzame energie-opties eerder rendabel worden. Dit effect zal de komende jaren sterker worden met de verdere verhoging van de REB, gecombineerd met de afdrachtkorting en het nihilstarief voor groene stroom [Ministerie van economische zaken 1999b].

Tabel 2: Tarieven voor de REB in 2001

Aardgas (m ³)	REB (ct/m ³) excl. BTW	Elektriciteit (kWh)	REB (ct/kWh) excl. BTW
0-5.000	26,50	0-10.000	12,85
5.000-170.000	12,38	10.000-50.000	4,27
170.000-1.000.000	2,30	50.000-10.000.000	1,31
Boven 1.000.000	0	Boven 10.000.000	0

Bron: [Energieconsulent 2000]

De potentiële vraag naar duurzame energie door burgers en bedrijven is groot. Ook als ze daarvoor meer moeten betalen zegt 40% van de bedrijven en huishoudens die nu nog geen duurzame energie afnemen dat wel te willen. Als slechts een kwart van het aangegeven potentieel reëel is, betekent dat meer dan 750.000 huishoudens en meer dan 50.000 bedrijven bereid zijn groene energie tegen de huidige marktprijs af te nemen. Een groot knelpunt hierbij is het aanbod van duurzame energie. Hiervan nog niet genoeg beschikbaar. Bovendien neemt het aanbod niet snel toe [Ministerie van economische zaken 1999b].

Dit komt onder andere door de zeer lange procedures die nodig zijn om een windpark te realiseren [Gelder 2000].

Omdat niet elke gebied geschikt is voor het opwekken van duurzame energie, heeft de energiesector het Groen-labelsysteem in 1998 in het leven geroepen. In dit systeem ontvangen producenten van duurzame energie Groen labels, die op basis van vraag en aanbod vrij verhandelbaar zijn. Energiebedrijven kunnen deze Groen labels kopen om (voor een deel) aan hun resultaatverplichtingen te voldoen. Daardoor krijgen ze toegang tot de gehele Nederlandse markt van duurzame energie en zijn ze niet langer gebonden aan de eigen regio.

Wanneer echter de groene stroom buiten de eigen regio wordt ingekocht, dan vindt de belastingdienst dat er wel Regulerende Energie Belasting geheven moet worden over deze groene stroom. Hierdoor wordt deze stroom echter weer te duur [Gelder 2000].

EnergieNed onderzoekt met buitenlandse partners of het Groen-labelsysteem ook in andere landen te introduceren is [EnergieNed 1998].

Het Groen-Labelsysteem, dat een initiatief van de energiesector was, wordt waarschijnlijk vervangen door een systeem van groencertificaten, dat door de overheid georganiseerd wordt [Gelder 2000]. Deze bieden voor afnemers de zekerheid dat de geleverde energie echt duurzaam is. Voorts zorgt het ervoor dat het aanbod van duurzame energie zijn weg kan vinden naar de afnemers, ongeacht of deze nu wonen in regio's waar de omstandigheden relatief gunstig of in regio's waar minder duurzame energie geproduceerd kan worden.

Het systeem van groencertificaten is 1 januari 2001 in werking getreden [Ministerie van economische zaken 1999b].

Een uitbreiding op systeem van groencertificaten, gaat per 1 april van start. Hierin werken Noorwegen, Zweden, Duitsland, Italië en Nederland samen in een test naar de haalbaarheid een eventueel Europees systeem van groencertificaten [www: Greenprices 2001].

3.2.5 *Subsidies*

Financiële stimuleringsregelingen voor duurzame energie bestaan in twee vormen. Rechtstreekse subsidies voor de aanschaf van energiezuinige maatregelen en fiscale regelingen.

Voorbeelden van rechtstreekse subsidies voor de woningbouw zijn:

Regeling energiepemie

Op veel energiezuinige producten werden al energiepemies gegeven. Sinds 1 januari 2001 vallen ook PV-panelen, zonneboilers en warmtepompboilers onder de regeling.

PV:	f 7,50 per opgesteld Wattpiek.
Zonneboilers:	f 1500,- bij opbrengst >3GJ f 1000,- bij opbrengst 2-3 GJ f 250,-/m ² bij collectieve zonneboilers
Warmtepompboilers:	f 1500,- per stuk

De uitvoering van de regeling energiepemie is in handen van de energiebedrijven.

Regulerende energiebelasting (REB)

De REB gelden worden via de zo genaamde REB-doorsluiting gebruikt voor vergoeding van producenten van duurzame energie. Deze doorsluiting moet via het energiebedrijf aangevraagd worden.

elektriciteit:	4,27 cent per kWh
aardgas:	12,38 cent per m ³
warmte:	f 3,91 per GJ.

CO₂-reductieplan

De regeling is onderdeel van het beleidsplan voor het terugdringen van broeikasgassen volgens de Kyoto-afspraken. De regeling verleend subsidies voor projecten op het gebied van restwarmtegebruik, warmtepompen, duurzame energie en technologie en industrie afhankelijk van de CO₂-reductie en kosteneffectiviteit.

Actieve Zonthermische Systemen. (AZS)

Een subsidie op zonnecollectoren afhankelijk van de hoeveelheid energie die jaarlijks kan worden opgebracht. Deze subsidie verdwijnt per 31-12 2001, vanwege de subsidiering van zonneboilers via de Energiepremieregeling.

Regeling groenprojecten

Regeling waarbij gelden uit groene beleggingen (vrijgesteld van belastingen) besteed kunnen worden voor groene financiering en groene hypotheek voor milieuvriendelijke woningbouwprojecten (duurzame energie en duurzaam bouwen). Voor de hypotheek geldt een limiet van maximaal f 75.000 per woning. De groene financiering kent geen wettelijke limiet. Deze wordt bepaald door de beleggers.

Besluit Subsidies Energieprogramma's (BSE)

Subsidieregeling voor haalbaarheidsprojecten, onderzoeks- of ontwikkelingsprojecten, praktijkexperimenten en voor projecten gericht op kennisoverdracht, demonstratie en marktintroductie op het gebied van energiebesparing, duurzame energie of toepassing van energietechnieken, die tot een geringere belasting van het milieu leiden.

De regeling bestaat uit drie grote programma's: Energiebesparing in de gebouwde omgeving en ruimtelijke aspecten, duurzame energie 2001, energiebesparing in industriële en agrarische bedrijven 2001.

Deze zijn elk weer uitgesplitst in kleinere programma's

De sluitingsdata verschillen per programma.

Subsidies via belastingvoordeel op het gebied van energiebesparing zijn ruim voorhanden voor bedrijven. Regelingen waarbij ook voor particulieren hiermee voordeel te behalen is zijn de Energie-investeringsaftrek (EIA) en de Regeling

Afschrijving Milieu-investeringen (VAMIL). Deze geven een aftrek van de investeringskosten op enkele duurzame investeringen (zonneboilers, collectoren, -panelen en warmtepompen) die via een leasecontract aan derden ter beschikking worden gesteld. De derden mogen ook particulieren zijn. De korting wordt op inkomsten- of vennootschapsbelasting gegeven.

3.2.6 Duurzame energie

Bij duurzame energie op nationale schaal moet vooral gedacht worden grootschalige projecten en stimuleringsregelingen. De eerste heeft met name betrekking op windenergie en biomassa- en afvalverbranding en de laatste op zonne-energie. Van beide wordt hieronder een stand van zake geschetst.

Zonne-energie

Zonne-energie kan op twee manieren benut worden. Rechtstreeks de zonnewarmte gebruiken om water op te warmen voor verwarming of warm tapwater (thermische zonne-energie), of door zonlicht om te zetten naar elektriciteit met een foto-voltaïsche zonnepanelen (PV).

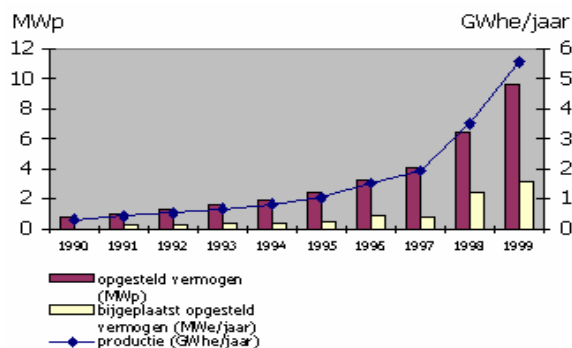
Zonneboilers zijn technisch aardig uitontwikkeld, maar het gebruik ervan moet meer geïntensiveerd worden. Daarom heeft de overheid heeft het Programma Thermische Zonne-Energie (TZE) 1996-2000 opgezet. Daarin staan de volgende doelen:

het realiseren van een toename van het aantal geplaatste zonneboilers tot minimaal 80.000 in het jaar 2000;

het marktrijp maken van andere toepassingen van actieve thermische zonne-energie;

het bevorderen dat een optimale benutting van passieve zonne-energie ruime toepassing vindt bij nieuwbouw en renovatie van woningen en gebouwen.

Een volgend meerjarenprogramma is in voorbereiding. Voor 2007 wordt gestreefd naar 250.000 zonneboilers oplopend tot 1 miljoen zonneboilers in 2020 [www: Zonnewarmte 2000].



Figuur 1: Ingroei fotovoltaïsche zonnecellen in Nederland

Sinds het begin van de jaren 90 is fotovoltaïsche zonne-energie (PV) in ontwikkeling (Figuur 1). Niet alleen in opgesteld vermogen, maar ook de technische ontwikkeling schrijdt voort. In de beginjaren werd slechts 5 % van het invallende zonlicht omgezet in elektriciteit. Tegenwoordig is dat voor commerciële zonnecellen 15% en in onderzoekslaboratoria wordt al een rendement van 30% gehaald [www: Universiteit Leiden 1999].

Doordat de prijs per kWh van PV-electriciteit lang erg hoog bleef, heeft het geruime tijd geduurd voordat er meer gebruik van gemaakt werd. De prijs was hoog, daarom wilde

niemand het kopen. En niemand wilde het kopen, waardoor de prijs hoog bleef. Om deze vicieuze cirkel te doorbreken kwam Greenpeace in 1998 met het Solaris project. Hierbij heeft Greenpeace PV-zonne-energie gepromoot en daardoor genoeg particulieren geïnteresseerd gekregen om een zonnepaneel aan te schaffen, waardoor de prijzen van deze panelen omlaag gingen.

Nadat Greenpeace met het Solaris project het voortouw heeft genomen, is de prijs van zonnepanelen (PV) gedaald tot duizend gulden per stuk. Dit kwam doordat de overheid en de energiebedrijven in het project gingen participeren. In een brief aan de tweede kamer hebben de minister van economische zaken en de staatsecretaris van VROM een pakket maatregelen bekend gemaakt, die de prijs van zonnestroom in 10 jaar moet laten dalen van f1,35 per kWh naar f0,50 per kWh. Dit moet mogelijk worden door niet alleen via projecten als Solaris, maar ook door aan particulieren rechtstreeks een subsidie te verlenen op de aanschaf van een zonnepaneel [www: Projectbureau duurzame energie 2000d].

In een nieuw convenant van de overheid met het bedrijfsleven, dat waarschijnlijk begin 2001 getekend gaat worden, willen de partijen een cumulatieve afzet van 250 megawatt-piek in het jaar 2007 als doelstelling opnemen. Dat komt neer op ruwweg 100.000 woningen met een dakvullend PV-systeem [www: Projectbureau duurzame energie 2000b].

Mede door het Nederlandse overheidsbeleid, dat zich sterk maakt voor duurzame energie, is per 1 januari 2000 met de oprichting van Shell Solar begonnen. Het is de bedoeling om in zeer korte tijd de kostenprijs van zonne-energie op de prijs van het kleingebruikertarief te krijgen, door in een consortium een grote fabriek voor zonnecellen neer te zetten. Ook moeten technieken ontwikkeld worden om de kostprijs terug te brengen tot het grootverbruikertarief van 6-7 cent per kWh [Roggen 2000].

Wanneer netgekoppelde PV-systemen grote ingang gaan vinden, zullen gezien het relatief hoge aandeel van de vaste kosten bij elektriciteitsproductie en -distributie de kosten per eindverbruiker stijgen. Bij zeer grote inzet van netgekoppelde PV-systemen kan het zelfs zijn dat er op zonnige dagen een overschot aan elektriciteit ontstaat. Hiervoor zullen dan grootschalige opslagsystemen ontwikkeld moeten worden [KPMG 1999].

Windenergie

Op land zou in 2000 volgens een convenant tussen provincies en het rijk voor 1000 MW aan windmolen moeten staan. Dit is bij lange na niet gehaald; er stond ruim 400 MW. De belangrijkste oorzaak hiervan is de geringe medewerking van de gemeentes op wiens grond de molens geplaatst moesten worden. Zij waren ook niet bij het convenant betrokken.

In een nieuw convenant, dat in de maak is, is de streefwaarde voor 2010 een opgesteld vermogen van 1500 MW. Bij dit convenant is ook de vereniging van Nederlandse gemeenten (VNG) betrokken, zodat te verwachten valt dat gemeenten minder dwars gaan liggen bij voorgenomen plaatsing van windmolens op hun grondgebied [www: Projectbureau duurzame energie 2000b].

De problemen die bij plaatsing van windmolens op land naar voren komen zoals tegenwerkende gemeentes, burgers en milieugroeperingen, zullen bij plaatsing in zee minder snel voorkomen. Daarom worden er plannen gemaakt voor windmolenparken in zee. Bovendien heeft plaatsing op zee nog een ander voordeel. Doordat op zee de wind vaker en harder waait dan aan land, is het rendement van een windmolen ook hoger. Dit was echter tot voor kort economisch nog niet aantrekkelijk. Maar sinds kort wil men op veel plaatsen aan het experimenteren met offshore windmolenparken. Voor de kust van

Egmond moet omstreeks 2002/2003 een windmolenpark komen met een vermogen van 100 MW. verder wil een Nederlands consortium een offshore windpark buiten de 12-mijlszone in fases bouwen van 4000 tot 6000 MW. Dit wordt mogelijk doordat de rentabiliteit van zulke parken toeneemt, door het steeds meer beschikbaar komen van grotere windmolens, goedkopere funderingen en efficiëntere energietransport [Vriez 2000].

Biomassa en afval

Er zijn twee hoofdstromen van biomassa: specifiek voor energiedoelen geteelde of geogoste biomassa (energieteelt) en organische reststromen. Beide stromen kunnen op de volgende manieren worden omgezet in energie:

- Verbranding
- Vergisting
- Vergassing
- Pyrolyse

Hierbij is het afhankelijk van het soort materiaal welke techniek gekozen wordt.

De energie die opgewekt is uit biomassa en afval leverde in 1999 elektriciteit (1.408 GWh) voor ruim 408.000 huishoudens, warmte voor ca. 226.100 huishoudens (13,5 PJ) en gas voor ca. 27.500 huishoudens (vergelijkbaar met 55 miljoen m³ aardgas).

In het jaar 2020 moet 120 PJ worden opgewekt met duurzame bio-energie. Dat komt overeen met het gasverbruik van ca. 1,4 miljoen huishoudens. Met bio-energie moet in 2020 42% van de totale doelstelling voor duurzame energie worden ingevuld.

In Tabel 3 zijn de streefwaarden voor de diverse bio-energie-opties nader uitgesplitst. De verschillende onderdelen zijn uitgedrukt in vermeden fossiele brandstof (PJ). Uit deze tabel blijkt dat afvalverbrandingsinstallaties voor elektriciteitsopwekking aanvankelijk centraal staan. Vervolgens verschuift het accent naar het bijstoken van biomassa (afvalhout en slib) in kolencentrales. In de laatste tien jaar tot 2020 komt meer de nadruk te liggen op toepassingen van geavanceerde technieken, zoals vergassing [www: Projectbureau duurzame energie 2000a].

Tabel 3: Streefwaarden voor opties bio-energie opwekking uitgedrukt in vermeden fossiele brandstof (PJ)

	2000	2007	2020
Afvalverbrandingsinstallaties	30	40	45
Houtverbranding huishoudens	8	8	8
Industrie	5	5	5
Bijstook kolencentrales	3	18	20
Verbranding / vergassing	2	6	30
Stortgas / vergisting	6	8	8
Overige	-	-	4
Totaal	54	85	120

Bron: [www: Projectbureau duurzame energie 2000a]

Op het moment zijn nieuwe emissie-eisen voor bio-energie-installaties in voorbereiding. Doordat strenge normen voor NO_x-uitstoot worden gehanteerd, zullen kleine installaties met hoge kosten geconfronteerd worden om hieraan te kunnen voldoen. Het projectbureau Duurzame Energie (PDE) voorziet vooral problemen voor stortgas en biogas uit vergistinginstallaties [www: Projectbureau duurzame energie 2000a].

Op het moment neemt het aantal elektriciteitscentrales waarin biomassa gebruikt wordt sterk toe. Voorbeelden hiervan zijn de Amercentrale in Geertruidenberg, waar afvalhout wordt vergast en de bio-energiecentrale in Cuijk en Schijndel. Ook in Lelystad wordt een centrale van 6,5 MWth en 1,8 Mwe voor schoon hout in gebruik genomen [Stam 2000].

De EPON wil een vergistinginstallatie bij de elektriciteitscentrale in de Eemshaven bouwen. Hierin moet 1 miljoen ton huishoudelijk afval en 200.000 ton zuiveringslib gebruikt worden, wat een besparing van 50 miljoen kubieke meter gas moet opleveren [www: Energiemanagement 2000a].

3.2.7 *CO₂-opslag*

Het lijkt erop, dat het versterkte broeikas effect een groter probleem aan het worden is, dan de eindigheid van de energievoorraden. Daarom zijn tijdens de wereldklimaatconferentie in Kyoto (1995) afspraken gemaakt betreffende het terugdringen van o.a. de CO₂-uitstoot. Doordat de energievraag nog steeds sterk stijgt en doordat deze sterke stijging niet genoeg gecompenseerd wordt door inzet van CO₂ neutrale energieopwekking kan het noodzakelijk zijn, om de doelstellingen betreffende de CO₂ reductie te halen d.m.v. het opslaan van CO₂. Het is mogelijk CO₂ op te slaan wanneer dit geconcentreerd vrijkomt, zoals bij bijvoorbeeld elektriciteitsopwekking. Als gevolg van deze grootschalige opslag kan de prijs van elektriciteit gaan stijgen. Dit kan weer een positief effect hebben voor duurzame stroom daar deze dan naar verhouding goedkoper wordt. Een ander nadeel van CO₂-wijdering is de afname van het rendement van de elektriciteitscentrale. Deze afname kan 7 tot 9% bedragen [Feber en Gielen 2000].

3.2.8 *Lange termijn verwachtingen voor de energievoorziening*

De energietoekomst visie van de Nederlands overheid komt in het kort neer op de drie volgende wijzen van aanpak:[Ministerie van economische zaken 2001]

1. Vermindering van de vraag
2. Inzet van hernieuwbare bronnen
3. Het restant aan benodigde energie zo efficiënt en schoon mogelijk op wekken.

Ad1: verbetering van de energie-intensiteit: verlaging van de energie-intensiteit in de productiesector moet zondermeer mogelijk zijn. Een verdergaande kosteneffectieve energie-efficiencyverbetering met 25-35% is mogelijk mits daar de juiste 'incentives' voor worden gegeven. Doormiddel van normering, regelgeving en subsidies kunnen energie-extensieve producten versneld op de markt worden gebracht. De EPN en .de regeling energiepremie. zijn hiervan goede voorbeelden

Ad 2: inzet van hernieuwbare bronnen: In principe zijn voldoende hernieuwbare bronnen aanwezig om in de wereldenergiebehoefte te voorzien. In Nederland is met name voor windenergie en biomassa een grote rol weggelegd. De schattingen hoe groot de bijdrage uit duurzame energie zal zijn lopen nogal uiteen (10 – 100%).

Ad 3: Ook van de inzet van "schoon fossiel" wordt een belangrijkere rol in de toekomst verwacht. Belangrijke technologieën in dit kader zijn o.a. de brandstofcel (transportsector en stationaire toepassingen) en waterstofproductie uit fossiele brandstoffen (de opslag van CO₂ wordt daarbij een belangrijk maatschappelijk vraagstuk). Ook kernenergie komt regelmatig naar voren als oplossing voor het broeikas probleem

Het is daarom raadzaam om zeker op deze kenmerken in te gaan zetten wanneer nieuw beleid wordt ontwikkeld. Dat wil zeggen, dat de EPN verder verscherpt zal worden. De groeiende elektriciteitsvraag gevoed moet gaan worden met duurzaam opgewekte elektriciteit uit offshore windparken en met biomassa gestookte elektriciteitscentrales. En de gas-infrastructuur behouden blijft. Hierin kan geïmporteerd aardgas of waterstofgas getransporteerd worden.

Verder zal de elektriciteitsproductie minder gecentraliseerd zijn dan de huidige. In plaats van weinig grote opwekkers, zullen een groot aantal kleine opwekkers de elektriciteitsproductie gaan verzorgen [Tolsma 1999].

3.3 Lokaal: de wijk

Op dit schaalniveau worden de concrete beslissingen genomen hoe de energievoorziening van de wijk er uit komt te zien. Deels heeft men dit in eigen hand maar deels wordt dit bepaald door:

- de locatie specifieke kenmerken van de wijk zelf;
- de directe omgeving van de wijk;
- de eisen op het gebied van regelgeving e.d. van een hoger schaalniveau.

Hierbij moet gedacht worden aan geologische en klimatologische omstandigheden maar ook aan de aanwezigheid van industrieën met een eventueel overschot aan warmte. Bij de keuzes die los staan van omgevingsfactoren en dus zelf gemaakt kunnen worden zijn bijvoorbeeld het zongericht verkavelen, de hoogte van de EPL en natuurlijk het al dan niet gebruik maken van de specifieke kenmerken zoals hierboven beschreven.

In deze paragraaf wordt een korte toelichting gegeven op de locatie kenmerken en de keuzes die op wijkniveau m.b.t. de energievoorziening gemaakt kunnen worden.

3.3.1 *Geologische en hydrologische kenmerken*

Deze kenmerken van bodem kunnen hun weerslag hebben op de potentie om gebruik te maken van aardwarmte, opslag van warmte en koude in de bodem en het rendement van mogelijk te installeren warmtepompen.

Aardwarmte

Ondanks het niet voorkomen van oppervlakte warmtebronnen, is het in Nederland toch mogelijk om aardwarmte te gebruiken voor verwarming. De derde energienota uit 1996 stelt dat aardwarmte in 2016 1% van energievoorziening (ca. 2 PJ) voor zijn rekening moet nemen. Vanwege fysische beperking zijn er maar een beperkt aantal gebieden geschikt voor het gebruik van aardwarmte. Dit zijn de aquifers in de verschillende soorten zandsteen in Noord-Nederland, Zuid-Holland, Noord-Brabant en de Waddenzee. Het aardwarmte potentieel bedraagt naar schatting 8000 PJ.

Omdat het oppompen van het warme water en terug pompen van het koude water de nodige energie kost, kan ook hier niet gesproken worden van een 100 procent schone verwarmingstechniek.

De verwachting is, dat aardwarmte de komende tien jaar nog geen grote vlucht gaat nemen vanwege de hoge kosten [Lokhorst 1999].

Warmte- en koude-opslag

De vraag naar en het aanbod van warmte uit natuurlijke hulpbronnen (de zon) lopen meestal niet synchron. Vaker is juist het tegenovergestelde het geval.

Opslag van warmte kan hier uitkomst bieden. Er dient wel onderscheid gemaakt te worden in korte termijn (als gevolg van dag-nacht fluctuaties) en lange termijn opslag (als gevolg van seizoensfluctuaties). In beide gevallen wordt de warmte uit zonnecollectoren opgeslagen. Met name voor de seizoensopslag van warmte en of koude kan gebruikt gemaakt worden van de bodem.

Als tijdelijke opslagplaats voor overtollige warmte of koude dienen watervoerende zandlagen op 25 à 100 meter diepte (aquifers). Het opslagsysteem bestaat uit twee putten die 50 tot 150 meter uit elkaar liggen en een warmtewisselaar. In de zomer wordt overtollige warmte uit gebouwen of omgeving via de warmtewisselaar opgeslagen in de ene put van het aquifer. Tegelijkertijd wordt er koude onttrokken aan de andere put. Via de warmtewisselaar wordt dit in de gebouwen gebruikt voor koeling. In de winter wordt de opgeslagen warmte aan de eerste put onttrokken en omgevingskoude in de tweede put gepompt.

Voor toepassing van energie-opslag is aanwezigheid van een aquifer nodig op geringe diepte. De grondwaterstroming ter plaatse mag niet te groot zijn. Opgeslagen warmte of koude vloeit anders te snel weg uit de buurt van de put. Circa negentig procent van Nederland heeft geschikte condities voor het toepassen van energie-opslag in aquifers.

De thermische opslagcapaciteit van de huidige Nederlandse projecten ligt tussen 200 en 1.500 MWh; de thermische vermogens van deze opslagsystemen zijn 500 tot 2.000 kW [www: Projectbureau duurzame energie 2000c].

Warmte-opslagprojecten zijn tot nu toe vooral binnen de utiliteitsbouw te vinden. Maar bij blokverwarming en/of -koeling is het systeem van warmteopslag ook goed in de woningbouw toepasbaar. Zeker in combinatie met een warmtepomp is het een systeem dat veel energie kan besparen. Voor individuele woningen is warmteopslag (nog) te kostbaar.

De ervaring leert, dat 's winters vaak meer warmte wordt onttrokken dan 's zomers wordt toegevoerd vanuit de gebouwen. Voor goede regeneratie van het opslagsysteem kunnen zonnecollectoren gebruikt worden. Bovendien bevordert dit de rentabiliteit van de zonnecollectoren. In plaats van aparte collectoren op bijvoorbeeld de daken is het ook mogelijk een asfaltweg als collector te gebruiken.

Voor het gebruik van asfaltwegen als collector zijn verschillende systemen in ontwikkeling

Warmtepompen

Het rendement van warmtepompen is sterk afhankelijk van het te overbruggen temperatuursverschil tussen bron en doeltemperatuur. De omgeving van de wijk kan mede bepalend zijn welke bron er gebruik gaat worden. Mogelijkheden zijn: industrieel afvalwater, oppervlaktewater, grondwater, in aquifers opgewarmd water en buitenlucht. Hoe hoger de temperatuur van de bron des te hoger kan de doeltemperatuur zijn of des te hoger zal het rendement van de warmtepomp zijn.

3.3.2 *Klimatologische kenmerken*

Deze kenmerken worden bepaald door de geografische positie waar een wijk gebouwd gaat worden. Ze beïnvloeden de vraag naar warmte, de opbrengst van zonnepanelen en zonnecollectoren en de opbrengst van windmolens.

Warmte vraag

Hoewel Nederland in termen van oppervlakte een klein land genoemd kan worden is er toch sprake van een aanzienlijk verschil in buitentemperaturen tussen de verschillende regio's. Gemeten in graaddagen¹ loopt dit uiteen (voor het jaar 2000) van 2461 in Vlissingen via 2659 in De Bilt tot 2882 in Eelde [*www: EnergieNed 2001*].

Deze verschillen hebben uiteraard gevolgen voor de warmtevraag van de woningen in een wijk. Deze verschillen kunnen ook net de balans, zowel energetisch als financieel door laten slaan naar een bepaalde isolatie-optie of verwarmingstechniek.

Wind

Naast de buitentemperaturen verschilt in Nederland ook het windregime sterk en hiermee samenhangend de opbrengst uit windenergie. OP 10 meter hoogte varieert de gemiddelde windsnelheid tussen 5.0 in het binnenland en 6.5 aan de kust en op de Wadden [Vermeulen 1981].

Windturbines in de gebouwde omgeving worden over het algemeen niet gewaardeerd. Wanneer mensen gevraagd worden naar hun mening over het gebruik van windenergie, dan is ca. 94% ervoor. Wanneer een windturbine in hun directe omgeving moet worden geplaatst, is echter nog maar 60% positief. Veel gehoorde bezwaren zijn: Landschapvervuiling, geluidsoverlast, kans op ongelukken. Bovendien worden de meeste woonwijken niet op windrijke plaatsen gebouwd, waardoor de opbrengst van een windturbine aan de lage kant is, of de windmolen moet zeer hoog gebouwd worden, wat weer op bezwaren van landschapinrichting stuit.

Wanneer voor een wijk van enige omvang een groot aantal kleine of enkele grote windturbines nodig. Om alle elektriciteit voor bijvoorbeeld 400 huishoudens op te wekken is een vermogen van circa 500 kW nodig.

Door alle bezwaren is het overheidsbeleid meer gericht op windparken met grote windturbines, dan op kleine windmolens in de wijk. De laatste tijd lijkt er echter weer meer interesse in het kleinschalige gebruik van windenergie te ontstaan bij de centrale overheid, die gemeenten proberen te stimuleren om windturbines binnen de gemeentegrenzen te plaatsen.

3.3.3 *Inrichting van de wijk*

De twee belangrijkste aspecten die bij de inrichting van de wijk spelen zijn de bebouwingsdichtheid; het aantal woningen per ha en of er al dan niet zongericht wordt verkaveld.

¹ Bij de berekening van de warmtevraag wordt vaak gebruik gemaakt van de graaddagenmethode [Meyer 1981]. Bij deze methode wordt aangenomen dat het gasverbruik recht evenredig is met het verschil tussen binnen- en buitentemperatuur. De invloeden van zon en wind worden dus buiten beschouwing gelaten. Uitgangspunt is dat een woning ruimteverwarming nodig heeft als de gemiddelde etmaaltemperatuur zakt beneden de 15,5 °C. Door interne warmtebronnen en de zon wordt de woning nog wat extra verwarmd, zodat bij een buitentemperatuur van 15,5 °C binnen gemiddeld een temperatuur van 18 °C heerst. Het aantal graaddagen gedurende een bepaalde periode wordt gevonden door de gemiddelde etmaaltemperaturen beneden 15,5 °C van deze 15,5 °C af te trekken en vervolgens deze verschillen te sommeren. Het gasverbruik gedurende zo'n periode gedeeld door het aantal graaddagen levert het gasverbruik per graaddag voor een woning.

Het aantal graaddagen is het aantal dagen dat per stookseizoen gestookt wordt, vermenigvuldigd met het tijdens die dagen optredende temperatuursverschil tussen binnen en buiten.

Zongerichte oriëntatie

Naast het zo efficiënt mogelijk verwarmen van woningen, is het goed de warmtevraag zo veel mogelijk te beperken door isolatie en door goed gebruik te maken van de warmte die de zon gratis kan leveren.

De warmte van de zon kan op twee manieren goed benut worden: passief, door grote ramen op het zuiden en actief met zonnecollectoren. Voor beide geldt, dat de oriëntatie van woningen van groot belang is. Deze dient voor zowel passieve zonne-energiegebruik als voor actieve zonne-energiegebruik op het zuiden gericht te zijn. Hierbij hebben kleine afwijkingen tot circa 20 graden naar het oosten of westen weinig invloed op de bijdrage van de zon aan de ruimteverwarming. Voor zonnecollectoren mogen de afwijkingen t.o.v. het zuiden nog iets groter zijn voor een voldoende rendement [NOVEM 2000b].

Verder moet er bij de indeling van de wijk op gelet worden, dat de ramen of collectoren niet beschaduwd worden door andere objecten zoals huizen en bomen, doordat deze te dicht op de woningen staan. De maximale belemmeringshoek is circa 16° voor passieve zonne-energie en 20° voor zonnecollectoren [NOVEM 2000b].

Omdat zonnecollectoren worden vrijwel altijd op daken van huizen toegepast, wordt de warmte die opgewekt in de woning zelf gebruikt voor warm tapwater en soms voor ruimteverwarming. Hierbij is 's zomers vaak een overschot aan warmte. Deze kan lokaal bijvoorbeeld collectief in een aquifer opgeslagen worden, waardoor de overtollige warmte niet verloren gaat. 's Winters kan het dan gebruikt worden voor een collectief verwarmingssysteem. Zo'n systeem van woninggebonden zonnecollectoren gecombineerd met centrale warmteopslag en verwarming functioneert al een aantal jaren in de Groningse wijk Beijum [NOVEM 2000b].

Bebouwingsdichtheid

De dichtheid waarmee in een wijk gebouwd wordt heeft slecht een indirect effect op de energievoorziening in een wijk. Naarmate de huizen verder van elkaar staan zal de energie-infrastructuur (leidingen e.d.) langer worden. Dit heeft met name gevolgen voor een eventueel warmteleidingen net t.b.v. stadsverwarming. Naarmate de afstand groter wordt zullen de leidingverliezen toenemen.

3.3.4 Collectieve verwarmingssystemen

Door het gebruik van collectieve verwarmingssystemen kan het gebruik van energie voor verwarming en warm tapwater flink terug gebracht worden. Zeker als gebruik gemaakt wordt door afvalwarmte van industrie uit de omgeving. Door toepassing van warmtekrachtkoppeling kan ook op het primaire energiegebruik voor elektriciteitsopwekking bespaard worden. Of zo'n systeem zinvol is hangt onder meer af van de warmtevraag en de totale leidinglengte die nodig is voor de distributie.

Er kunnen grofweg twee soorten collectieve verwarmingssystemen onderscheiden worden: blokverwarming en warmtelevering door derden.

Het belangrijkste verschil tussen blokverwarming en warmtelevering derden is de schaalgrootte: blokverwarming betreft één bouwblok, warmtelevering derden betreft een systeem voor honderden tot duizenden woningen.

Voordelen van collectieve systemen zijn:

- Er kan gebruik worden gemaakt van efficiënte energie-opwekkers en/of opslagmethoden, zoals collectieve HR-ketels, warmtekrachtkoppeling, warmtepomp, seizoensopslag met zonne-energie (nabije toekomst), geothermische energie of aardwarmte (verdere toekomst);

- Door de grotere schaal van een collectief systeem kan bespaard worden op de capaciteit en de investering van de energie-opwekking. Individuele ketelcapaciteit is bijv. 10 tot 20 kW, terwijl collectief dan slechts 3 tot 6 kW nodig is;
- Door cascade opstelling van kleinere eenheden kan gebruik gemaakt worden van goedkope componenten en draaien deze eenheden op vollast en dus met een hoog rendement;
- Collectieve installatie geven over het algemeen minder milieuverontreiniging door onder andere de efficiëntere opwekking van energie of warmte en een optimaler onderhoud;
- Er is geen warmtebron voor ruimteverwarming in de woning aanwezig. Dit is veiliger, eenvoudiger in onderhoud (niet per woning), minder ruimtebeslag per woning.

Nadelen van collectieve systemen zijn:

- De investeringen in het distributienet zijn over het algemeen hoog;
- De warmteverliezen in het distributienet zijn relatief hoog; bij grote systemen, waar grondleidingen worden gebruikt, kunnen de verliezen zelfs tot 30% van de totale warmteproductie oplopen;
- Vaak wordt het gasnet achterwege gelaten. Bewoners moeten daarom elektrisch koken hetgeen een hoger energiegebruik met zich meebrengt;
- Voor grote collectieve systemen voor warmtedistributie (stadsverwarming) is het soms onzeker hoe groot de toekomstige afname van warmte zal zijn. Dit kan voor de exploitatie van het systeem na verloop van de tijd nadelig zijn.

Voor grote collectieve systemen wordt vrijwel altijd gebruik gemaakt van een centrale voor warmtekrachtkoppeling. Een dergelijke WK-centrale levert 75 tot 90% van de jaarlijkse benodigde hoeveelheid warmte. De overige warmte wordt door hulpketels geleverd die soms in onderstations staan opgesteld om een betere benutting van het distributienet mogelijk te maken.

Bij kleinere collectieve systemen kan voor de warmtebron gebruik worden gemaakt van:

warmtekrachtkoppeling met miniwarmtekracht mogelijk tot minimaal 20 woningen
collectieve HR-ketels eventueel in combinatie met VR-ketels
warmtepompen
zonne-energie
een combinatie van bovengenoemde opties

De warmte uit het collectieve distributienet kan via een warmtewisselaar worden overgebracht op het leidingnet of direct worden toegevoerd aan het leidingnet. De beide netten staan dan in open verbinding met elkaar. Voordelen van het directe systeem zijn dat er geen extra kosten, geen energieverliezen en geen ruimtebeslag door de warmtewisselaar zijn. Ook is er geen pomp nodig. Nadeel is dat het systeem kwetsbaarder is, bijvoorbeeld voor lekkage.

Bij collectieve systemen is een individuele bemetering sterk aan te bevelen. Deze bemetering levert gemiddeld een energiebesparing van 15 tot 20% op ten opzichte van de situatie zonder bemetering, doordat men een hoger gebruik niet op het collectief kan afwentelen. Ook voorkomt het klachten t.a.v. de verdeling van de energiekosten.

Beperking van de leidingverliezen is te realiseren door korte leidinglengtes, goede leidingisolatie, voorkomen van leidingen door de grond, leidingen zoveel mogelijk te leggen in ruimtes met warmtebehoefte, lage temperatuur verwarmingsstelsel.

In woningen met een collectief verwarmingssysteem zal ook meestal collectief plaatsvinden. Vanuit het oogpunt van energie is een apart distributienet voor warm tapwater aan te bevelen [NOVEM 2000b].

Afvalwarmte

De warmte kan geleverd worden uit een nabij gelegen industrie. Voorwaarde is natuurlijk dat deze locatie niet te ver van de wijk verwijderd mag zijn. De hoeveelheid restwarmte dient ook in voldoende hoeveelheid met een goede temperatuur en met een zekere betrouwbaarheid geleverd kunnen worden.

Warmtekrachtkoppeling (WKK)

Met gebruik van bestaande technieken kan warmtekrachtkoppeling kan goed op wijk- of blokniveau gerealiseerd worden, omdat de vermogens die voor wijk- of blokverwarming nodig zijn, een wkk-installatie van voldoende grootte vragen. Hierdoor ontstaan energetische en economische schaalvoordelen, die zo'n installatie rendabel maken.

Voor een goede energie-efficiënte hoort wkk begrensd te zijn op de maximale warmtevraag, waarbij de opgewekte elektriciteit zoveel mogelijk voor eigen gebruik benut wordt. Het resterende deel van de opgewekte elektriciteit kan eventueel aan het net teruggeleverd worden.

Warmtekrachtinstallaties bestaan meestal uit een verbrandingsmotor of gasturbine in combinatie met een generator met als brandstof meestal gas, maar olie of kolen zijn ook mogelijk. Ook brandstofcellen kunnen in de nabije toekomst worden ingezet voor warmtekracht.

Omdat tegenwoordig toch ook veel particulieren airconditioning in de woning willen i.v.m. een hoger wooncomfort in de zomer, kunnen wkk-installaties ook gebruikt worden om de warmte voor een absorptie koelmachine te leveren. Als gevolg hiervan wordt een extra warmtevraag gecreëerd in de zomer. Hierdoor ontstaat een extra energetisch voordeel t.o.v. een losse airconditioning, doordat een wkk-installatie meer uren draait. Hierdoor wordt ook 's zomers de elektriciteit vaker efficiënter met behulp van de wkk-installatie opgewekt.

Bij collectieve verwarmingssystemen moet er op gelet worden, dat de transportafstand van warmte niet te groot wordt. Alleen bij grote installaties, is het economisch en energetisch nog rendabel om warmte over grotere afstand te transporteren. Daarom wordt een mini-wkk-installatie die één blokhuisen verwarmt goede kansen toebedeeld, omdat daarbij de warmte verliezen bij transport klein blijven.

Bovendien zijn de investeringen in een warmte distributienet alleen rendabel bij een voldoende dichtheid van de warmtevraag per oppervlakte-eenheid. Hierbij moet ook gelet worden op een eventuele afname van de warmtevraag door bijvoorbeeld verbeterde isolatie, veranderende leefpatronen en ingroei van zonneboilers, doordat hierdoor de warmtevraag per oppervlakte-eenheid daalt.

Omdat het vraagpatroon van warmte en elektriciteit niet altijd gelijk lopen, levert het gebruik van een opslagsysteem een beter rendement van een wkk-installatie.

Bij wkk moet het elektrisch en het totaal rendement zo hoog mogelijk zijn voor een zo groot mogelijke besparing. D.w.z. dat een wkk-installatie het meeste energie bespaart, als hij naar verhouding veel elektriciteits produceert. Een extra besparing is verder nog te behalen door een wkk-installatie te combineren met een collectieve warmtepomp. Hierdoor kan de extra elektriciteit die bij piekvraag in warmte ontstaat, gebruikt worden

voor productie van extra warmte met warmtepompen. Daardoor kan met een kleinere wkk-installatie volstaan worden, die dan vaker en langer op vollast draait [Centrum voor energiebesparing en schone technologie 1998].

Afhankelijk van het aantal woningen komen bepaalde typen wkk-installaties in aanmerking. Vanaf zo'n 20, woningen is een mini-wkk-installatie met een elektrisch vermogen van 5 kW geschikt.

Grote gasmotor wkk-installaties hebben een elektrisch vermogen van circa 150 kW en thermisch vanaf zo'n 260 kW. Ze zijn geschikt voor projecten vanaf 200 woningen met een voorkeur voor minimaal 300 woningen. Gasturbines komen in aanmerking voor grootschalige woningbouw projecten vanaf circa 4000 woningen. Er wordt op het moment echter ook gewerkt aan gasturbines met een kleiner vermogen voor circa 400 woningen.

Bij zeer grote projecten kan nog gedacht worden aan een STEG-centrale. Deze halen namelijk een hoog elektrisch rendement (55%). Door het grote vermogen (minimaal 200MW) is een groot aantal aansluitingen nodig (vanaf circa 20.000 woningen), waardoor een grootschalig distributie net nodig is. Zo'n groot distributienet is echter financieel riskant. Dit kan eventueel opgelost worden, door eerst kleine wkk-installaties te bouwen met kleinere netwerken, die aan het eind van de levensduur van de wkk-installaties gekoppeld worden tot één groot net en via een STEG-centrale gevoed worden [NOVEM 2000b].

Vanwege het hogere rendement van gecombineerde opwekking van warmte en kracht in vergelijking met gescheiden opwekking, levert dit in de nieuwbouw een brandstofbesparing op van 15 procent (bij gebruik van een gasmotor) tot 25 procent (bij gebruik van een kleine STEG) [Boels *et al* 1996].

3.3.5 *Infrastructuur*

Met de infrastructuur wordt hier het leidingnet voor energietoevoer bedoelt. In het traditionele geval zijn dat een gasleiding en een elektriciteitsleiding, omdat elk huis individueel van een gasaansluiting en elektriciteit voorzien wordt. Eventueel komt daar een leidingennet voor warmte bij indien van collectieve verwarming gebruik wordt gemaakt.

Bij wijk- en blokverwarming wordt soms geen gasleiding aangelegd, omdat het belangrijkste gebruik van gas, het verwarmen van de woning, al geregeld is. Daarom wordt alleen elektriciteit naar de woningen aangelegd. Hierdoor moet er elektrisch gekookt worden. Soms zelfs wordt het tapwater elektrisch verwarmt. Dit is energetisch zeer inefficiënt. Bovendien is het voor de eindgebruiker economisch onaantrekkelijk, omdat elektrisch verwarmen met weerstandsverwarming erg duur is.

Met nieuwe technieken kan een "all electric" wijk wel op efficiënte wijze gerealiseerd worden. Bijvoorbeeld door de huizen en het tapwater te verwarmen met een elektrische warmtepomp. Deze verwarmt, ondanks het rendement van maximaal 55% bij elektriciteitsopwekking in Nederland, toch efficiënter dan een hr-ketel.

Tegenover een "all electric" wijk staat een "all gas" wijk. Hierbij wordt geen elektriciteit meer geleverd, maar enkel aardgas. Hiervoor moet elektriciteit lokaal opgewekt worden met bijvoorbeeld een wkk-installatie. Het elektriciteitsgebruik van de woningen kan naar beneden gebracht worden, door een aantal elektrische apparaten te vervangen door gasgestookte, bijvoorbeeld een gasgestookte wasdroger. Ook kan gedacht worden aan een "hot fill" wasmachine en vaatwasser.

Indien van collectieve verwarming gebruik wordt gemaakt, is ook een warmtenet nodig in de wijk of per blok. Bij het ontwerpen hiervan moet op de volgende punten gelet worden: [NOVEM 2000b]

- Het leiding net moet zo kort mogelijk zijn. hiervoor is een relatief hoge bebouwingsdichtheid nodig. Bij een grootschalig warmtenet (vanaf circa 3000 woningen) een netto dichtheid van 30 woningen per hectare. Bij een kleinschalig net (vanaf 300 woningen) een netto dichtheid van 55 woningen per hectare.
- Goede isolatie van de leidingen
- Collectieve leidingen kunnen het best door te verwarmen ruimtes lopen, waardoor het warmte verlies ten goede komt aan deze ruimte.
- Een lage temperatuur verwarmingssysteem in de woningen gebruiken. Hierdoor kan de aanvoer temperatuur van het water lager zijn, waardoor de verliezen verminderen.
- Bij een collectief warm tapwatersysteem heeft een apart leidingsysteem de voorkeur, omdat de temperatuur van dit systeem 's zomers en 's winters minimaal 70 graden moet zijn, i.v.m. eventuele legionella besmetting.

3.3.6 Toekomstige ontwikkelingen

Zoals geschreven bestaan warmtekrachtinstallaties meestal uit een verbrandingsmotor of gasturbine in combinatie met een generator. Ook brandstofcellen zijn geschikt om te worden ingezet als warmtekrachteenheden. Hierbij dient wel te worden aangemerkt dat de warmte-kracht verhouding duidelijk verschilt van de conventionele warmte krachteenheden. Met brandstofcellen wordt in verhouding veel meer elektriciteit opgewekt. Dit soort eenheden komen net uit de testfase en zijn nu min of meer productie rijp.

Een voorbeeld hiervan is een kleinschalige energiecentrale ontwikkeld door het elektriciteits- en waterbedrijf GEW Köln AG. Deze bestaat uit een zuiveringsinstallatie voor het biogas gecombineerd met brandstofcellen. De installatie heeft een vermogen van 200 kWe. Uiteindelijk wil het bedrijf installaties ontwikkelen voor gebruik in huishoudens met een vermogen van 1 tot 10 kWe [Stalpers 2000].

Ook op het gebied van de infrastructuur (het leidingensysteem) moet misschien al rekening gehouden worden met waterstof. Hiervoor kan eventueel het aardgasnet gebruikt worden [Hart *et al* 1999]. Hierbij moet echter met een aantal problemen rekening gehouden worden.

Het waterstof molecuul is veel kleiner dan methaan, met als gevolg dat lekken toeneemt. Dit kan echter tegengegaan worden door middel van een aantal technische aanpassing. Kunststof leidingen, die steeds vaker gebruikte worden voor aardgastransport, kunnen niet goed gebruikt worden voor waterstoftransport, omdat deze niet dicht genoeg zijn. Daarom is het af te raden deze te gebruiken, indien verwacht wordt dat waterstof in de toekomst gebruikt gaat worden als energiedrager.

Een ander probleem is waterstofverbrossing van de leidingen. Hierbij wordt het staal bros onder invloed van waterstof. Dit gebeurt ook wanneer slechts een deel van het aardgas vervangen wordt door waterstof. Er zijn echter verschillende metalen en legeringen, die niet verbrossen. Een andere oplossing tegen verbrossing is het aanbrengen van een coating. Ook is het mogelijk om kleine hoeveelheden CO, SO₂, O₂ of andere gassen toe te voegen, waardoor verbrossing voorkomen wordt [Ogden 1999].

Een andere verschil met aardgas is de leidingdiameter die nodig is. Omdat waterstof een veel lagere energiedichtheid heeft moet de leidingdiameter van een waterstofleiding

ongeveer 20% groter zijn dan die van een gasleiding om de zelfde energiestroom te verkrijgen [Hart *et al* 1999].

Door deze verschillende eigenschappen van waterstof zijn de kosten een waterstofinfrastructuur 1,5 tot 3 maal de kosten voor aardgas afhankelijk van ondergrond en schaalgrootte. Ten opzichte van de kosten van waterstofproductie blijven de kosten voor het transport relatief gezien klein [Hart *et al* 1999].

3.4 De woning

Het energiegebruik van een woning kan worden opgedeeld in het energiegebruik voor verwarmingsdoeleinden: ruimteverwarming en warm tapwater, en het energiegebruik voor andere in het huis te vervullen functies: wassen koken e.d.. Aan deze vraag naar warmte en de andere functies kan op verschillende mogelijkheden worden voldaan. Een huis kan bijv. verwarmt worden d.m.v. een in de woning opgestelde HR-ketel of door een stadsverwarmingsinstallatie in de wijk. Koken kan op gas en elektrisch. De eventueel benodigde elektriciteit kan betrokken worden van het centrale of van lokaal opgestelde bronnen (wind, zon e.d.).

De keuzes die op het schaalniveau van de woning mogelijk zijn hangen in sterke mate af van de keuzes die op het één 'hogere' schaalniveau gemaakt zijn (zie paragraaf 0). In deze paragraaf worden die opties besproken, die met name betrekking hebben op dit schaalniveau alleen.

3.4.1 Warmtevraag

De vraag naar warmte in een woning wordt meestal opgesplitst in de warmte benodigd voor ruimteverwarming en de warmte benodigd om te voorzien in de vraag naar warm tapwater.

De netto warmte vraag voor ruimteverwarming wordt bepaald door het verschil tussen het warmteverlies en de warmtewinst. Deze verliezen en winsten hebben beiden zowel een klimatologische, een technische als een gedragscomponent. De klimatologische component is reeds in paragraaf 3.3.2 aan de orde geweest.

Warmteverliezen

De warmteverliezen kunnen worden opgesplitst in transmissieverliezen en ventilatieverliezen.

De transmissieverliezen van een woning worden bepaald door de som van de transmissieverliezen van alle afzonderlijke constructies. Deze worden bepaald door het oppervlakte van de constructie en de warmtedoorgangscoefficiënt (U-waarde) in W/m^2K (zie bijlage A). Om de transmissieverliezen te reduceren kan deze U-waarde worden verlaagd: isoleren.

Na de energiecrises van 1973 en 1979 werd dit sinds de jaren tachtig een standaard maatregel bij nieuwbouw. Sinds eind 1995 is Energie Prestatie Norm (EPN) van kracht. In deze norm staat aangegeven hoe de energie prestatie van een woning kan worden bepaald. De energie prestatie wordt uitgedrukt in de EPC, de energieprestatiecoëfficiënt. Hoe lager de EPC hoe energiezuiniger de woning of het woongebouw (bijv. appartementencomplex) is. Hoewel de EPC meer is dan een isolatienorm alleen speelt de isolatie van de woning wel een belangrijke rol in het geheel en zijn er dan ook minimale isolatie eisen in deze norm opgenomen (zie verder ook bijlage B).

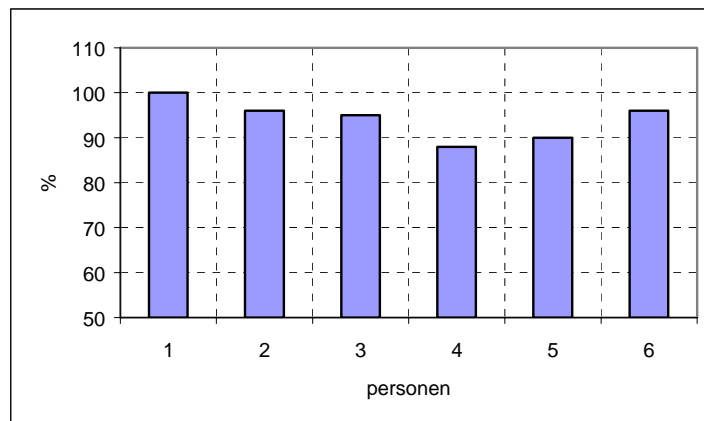
Sinds 1 januari 2000 mag de EPC van een nieuwbouwwoning maximaal 1,0 bedragen. Het overheidsbeleid is er op gericht de komende jaren de EPC verder te laten dalen.

Voor een gezond leefklimaat moeten huizen ook geventileerd worden. Dat kan zowel via natuurlijke weg door kieren en open ramen en als via mechanische toe en/of afvoer. De huidige norm voor ventilatie, ook ventilatievoud genoemd, bedraagt op dit moment voor woningen ca. 1. Dit wil zeggen dat de lucht in een woning minimaal 1 maal per uur moet worden verversd. De verliezen als gevolg van ventilatie zijn terug te dringen m.b.v. warmteterugwinningsinstallaties.

Warmteterugwinapparatuur voor ventilatiesystemen is er in verschillende vormen met verschillende rendementen. Bij deze apparatuur wordt de ingevoerde lucht via een warmtewisselaar opgewarmd door de afgevoerde lucht. De rendementen variëren tussen de 0,60 bij conventionele gebalanceerde ventilatie en 0,97 bij HR ventilatie [Veld 2000].

Behalve van technische voorzieningen in het huis is de warmtevraag sterk afhankelijk van het aantal bewoners en hun gedrag.

De procentuele warmtevraag verloopt volgens de grafiek in Figuur 2 met het aantal bewoners.



Figuur 2: Warmte vraag in relatie tot de gezinsomvang

De grafiek is de resultante van een afnemende warmtevraag door de toename van de interne warmteproductie en de stijgende warmtevraag vanwege het vaker aanwezig zijn van personen in de woning. [Sipma 1997]

NEN 5128² gaat ervan uit, dat het redelijk is, dat het aantal bewoners evenredig stijgt met de grootte van de woning. Dit blijkt uit de relatie tussen de interne warmteproductie en het gebruiksoppervlak, waartussen NEN 5128 en evenredig verband verondersteld. Volgens Sipma [Sipma 1997] is deze aanname niet correct. Via BEK en BAK studies kan het aantal bewoners gerelateerd worden aan het woningtype. Hierbij stijgt het gemiddelde bewonertal slechts licht voor grotere woningtypes. De spreiding in bewonertal is echter zeer groot. Hierdoor is niet met redelijke betrouwbaarheid aan te geven of er twee, drie of vier bewoners in een tussen, hoek, twee onder één kap of vrijstaande woning wonen.

Dat het gedrag van bewoners invloed heeft op de warmtevraag, is een bekend fenomeen. De ene mens heeft de verwarming nu eenmaal een graadje hoger staan dan

² Het Nederlands Normalisatie-instituut stelt allerlei normen op; de zogenaamde NEN normen. NEN 5128 is een bepalingmethode uit 1998, betreffende de Energieprestatie van woningen en woongebouwen [Nederlands Normalisatie-instituut 1998].

de ander. Echter moderne energiezuinige ontwerpen kunnen grotendeels teniet worden gedaan door verkeerd gebruik.

Dit verkeerde gebruik komt vaak door gewoontegedrag. Bijvoorbeeld ventileren door ramen op te zetten, terwijl gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning in de woning aanwezig is. Ook is onbegrip of onkunde vaak een oorzaak van verkeerd gebruik. Dit is te voorkomen door goede voorlichting te geven over het gebruik van de moderne energiezuinige technieken in de vorm van bijvoorbeeld een schriftelijke handleiding bij de woning [Uyterlinde en Jeeninga 2000].

Warmtewinst

De warmtewinst van een woning wordt bepaald door de zoninstraling en door de interne warmteproductie van mens, dier en apparatuur.

Warmtewinst door zoninstraling is op eenvoudige wijze te behalen door grote ramen in de zuidgevel van de woning te plaatsen. Dit zogenoemd zongericht bouwen kan 60 à 70 m³ aardgas per jaar besparen [NOVEM 2000b]. Gevels met een afwijking op het zuiden groter dan 30 graden zijn niet meer geschikt voor grote raamoppervlakten omdat de warmteopbrengst dan te ver terugloopt [NOVEM 2000b].

De warmtewinst via een raam is afhankelijk van het oppervlakte van het raam, de zonnearmteflux, het soort raam (enkel, dubbel of warmtereflecterend), de oriëntatie (zowel horizontaal als vertikaal) en beschaduwing.

De beschaduwing kan negatief zijn, doordat een belemmering bij lage zonnestand licht tegenhoudt, waardoor 's winters minder licht invalt. Ook kan het positief gebruikt worden door overstek boven het raam te hebben. Dit geeft schaduw bij hoge zonnestand, waardoor in de zomer oververhitting voorkomen wordt.

Interne warmteproductie door personen, verlichting en apparatuur levert ook warmtewinst op. Deze winst wordt in NEN 5128 gerelateerd aan het gebruiksoppervlakte van de woning, ervan uitgaand dat bij een groter gebruiksoppervlakte meer personen in de woning aanwezig zullen zijn, die meer verlichting en apparatuur aan hebben staan.

Ook het bereiden van voedsel en warm tapwater levert extra warmte op in de woning. De warmte gebruikt voor koken zal meestal volledig aan de woning ten goede komen. De warmte in tapwater zal slechts gedeeltelijk in de woning benut worden, aangezien warm water vaak weer snel via het riool afgevoerd wordt (bijv. bij douchen).

Naast het verwarmen van woning begint het koelen van woningen in de zomer ook steeds meer opgang te vinden. Het is daarom relevant om hiermee rekening te houden. Zeker als warmtepompen, die ook als koelinstallatie gebruikt kunnen worden, in combinatie met warmte- en koudeopslag meer in de woningbouw gebruikt gaan worden.

In NEN 5128 wordt alleen aan de hand van het opgestelde vermogen van de koelmachine(s) het energiegebruik voor koeling berekend.

Warm tapwaterbehoefte

De warmtebehoefte voor warm tapwater hangt af van de leidingverliezen en de netto warmtebehoefte. Deze laatste is vooral afhankelijk van het gebruik, hoe vaak wordt er gedoucht, in bad gegaan, afgewassen enz, en de opwarmtemperatuur van het water.

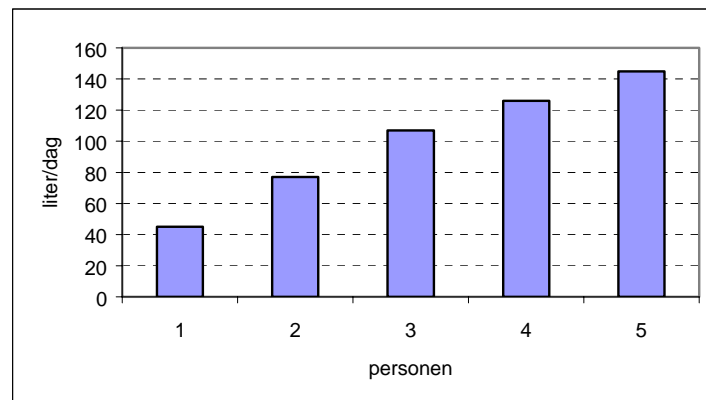
In NEN 5128 is deze netto warmtebehoefte rechtstreeks gekoppeld aan het gebruiksoppervlak van de verwarmde zones van de woningen. Omdat het verband tussen aantal bewoners en de grootte van de woning niet overduidelijk is [Sipma 1997],

is voor een nauwkeurige bepaling van het warm tapwater gebruik een rechtstreekse koppeling aan het bewonertal noodzakelijk. Ook blijkt het warm tapwater gebruik sterk afhankelijk te zijn van de leeftijd [VEWIN 1995;VEWIN 1999].

Door de verbeterde isolatie van woningen en de stijgende vraag naar warm tapwater neemt de bereiding van warm tapwater een steeds groter deel van het energiegebruik. Daarom is het ook van belang dit gebruik nauwkeurig te kunnen bepalen. Bovendien is bij gebruik van een mini- of micro-warmtekrachtinstallatie de elektriciteitsproductie afhankelijk van de warmtevraag. ‘s Zomers komt de warmtevraag bijna volledig op het conto van de warm tapwaterbereiding, zodat de elektriciteitsproductie hier ook sterk aan gekoppeld is [Sipma 1997].

De leiding verliezen zijn afhankelijk van de lengte en diameter van de leidingen, de hoeveelheid warm water per tappunt, de opwarmtijd van de leiding en de verdringtijd [Nederlands Normalisatie-instituut 1998].

Het aantal bewoners heeft volgens de VEWIN [VEWIN 1995;VEWIN 1999] invloed op voor warm tapwatervraag (zie Figuur 3). Deze is sterker afhankelijk van het aantal personen, dan het energiegebruik voor ruimteverwarming. Doordat de hoeveelheid energie voor warm tapwater bereiding een steeds groter deel van de totale energievraag van een woning omvat, wordt de invloed van het aantal personen op het energiegebruik steeds groter. Bovendien bestaat het energieverbruik in de zomer grotendeels uit energie voor warm tapwater. Hierdoor is bij mini- en micro wk-installaties de elektriciteitproductie sterk gekoppeld aan het warm tapwatergebruik.



Figuur 3: Warmtapwatervraag in relatie tot het aantal gezinsleden

3.4.2 *Resterende energievraag*

Onder de resterende energievraag wordt verstaan: alle energie benodigd in de woning behalve die voor ruimteverwarming en de warm tapwaterbereiding. Dit is met name de energie voor koken en alle elektriciteit.

Ondanks het feit dat huishoudelijke apparatuur de afgelopen 20 jaar aanzienlijk efficiënter is geworden, is het totale gemiddelde elektriciteitsverbruik in deze periode gestegen met ca. 1,8%/jr. Een deel van die stijging wordt veroorzaakt door de vele elektrische apparaten die energie gebruiken, ook als ze niet in bedrijf zijn (bijvoorbeeld “stand by”).

Verder is er een aantal nieuwe elektrische apparaten bijgekomen, die voorheen nog niet veel gebruikt werden in de Nederlandse huishoudens. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de elektrische wasdroger.

Dit apparaat is tegenwoordig ook in een gasgestookte versie te verkrijgen. Deze is energetisch een stuk voordeliger dan de elektrische wasdroger. Voor een gasgestookte wasdroger is echter een gasaansluiting nodig op de plaats waar hij moet staan. Dit is vaak een belemmering om zo'n energie-efficiënt apparaat aan te schaffen.

Een oplossing hiervoor is het gasstopcontact. Deze bestaat al enige tijd in Japan [Bakker 1997]. Hierop is eenvoudig een gasgestookt apparaat aan te sluiten. Wanneer gas stopcontacten op een aantal plaatsen in de woning aangelegd worden, is het eenvoudiger om apparatuur die elektrisch verwarmen te vervangen door apparaten die met gas verwarmen. Denk hierbij aan de hiervoor genoemde wasdroger, maar ook aan bijvoorbeeld een elektrische keukenboiler.

Een andere manier om het elektriciteitsgebruik terug te dringen is de aanleg van een warm water leidingnet. Hierdoor kunnen "hot fill" apparaten gebruikt worden, waardoor het water dat deze apparaten gebruiken niet elektrisch opgewarmd hoeft te worden, maar door de efficiëntere centrale "verwarming". Voorbeelden van apparaten in "hot-fill" uitvoering zijn de wasmachine en de keukenboiler.

Toetreding van daglicht in de woning heeft ook invloed op het energiegebruik. Relatief weinig daglicht leidt tot een hoger elektriciteitsgebruik voor verlichting. Echter grote glasoppervlakken hebben weer een nadelig effect op het energiegebruik door hogere transmissieverliezen. Dit laatste wordt door de steeds beter isolerende glassoorten minder belangrijk.

3.4.3 *Warmteoverdracht*

Traditioneel worden huizen uitgerust met radiatoren, die een temperatuurtraject van 90/70°C hebben. Dit heeft als nadeel voor de meeste energie-efficiënte opwekkingssystemen, dat de temperatuur van het terugkomende water te hoog is (HR-ketel) en/of dat het water te ver verwarmd moet worden (warmtepomp). Alleen VR-ketels hebben voordeel bij de hogere temperatuur, omdat het rendement dan iets hoger is dan bij lage temperatuur verwarming. Voordeel van traditionele radiatoren/convectoren zijn de geringe afmetingen, waardoor t.o.v. lage temperatuur radiatoren/convectoren weinig ruimte wordt ingenomen. Hierdoor is een huis eenvoudiger in te delen.

Lage temperatuur verwarming heeft een temperatuurtraject van 55/45°C. Hierdoor zijn de afmetingen van de radiatoren circa 2,5 maal zo groot als die van traditionele radiatoren, wat een nadeel is in verband met de eenvoudige indeelbaarheid van de woning. Een andere mogelijkheid bij lage temperatuur verwarming is vloer- of wandverwarming. Hierbij is het huis vrij indeelbaar, doordat de verwarming weggewerkt is in vloer of muren.

Lage temperatuur verwarming heeft de volgende voordelen:

- Het aandeel stralingswarmte is groter. Hierdoor kan voor het zelfde comfort de thermostaat 1 à 2 graden lager gezet worden;
- De transportverliezen in de leidingen zijn kleiner;
- De opwekkingsrendementen zijn voor zowel HR-ketels als duurzame en/of energie-efficiënte systemen hoger bij lagere temperaturen;
- Het systeem is gereed voor gebruik met (toekomstige) duurzame bronnen;
- Bij vloer en wandverwarming is de temperatuur gelijkmatiger verdeeld, wat veelal behaaglijker gevonden wordt.

Een nadeel van lage temperatuur verwarming is de langere opwarm- en responstijd. Het nadeel van deze lange responstijden is d.m.v. een klokthermostaat op te vangen.

3.4.4 *Energie-aanbod*

De warmtebehoefte voor ruimteverwarming en warm tapwater die een woning of huishouden heeft moet op een of andere manier vervuld worden. Hiervoor zijn er diverse installaties op de markt. Deze installaties zullen hieronder kort besproken worden zie voor een meer uitgewerkte bespreking bijlage C.

HR en VR-ketels

Dit type verwarmingssysteem is met de HR-ketel aan het einde gekomen van een ontwikkelingstraject dat begon met rendementen van 70% (onderwaarde).

Bijna alle moderne ketels hebben tegenwoordig een elektronische ontsteking, zodat gasverbruik door een waakvlam ook niet op treedt en steeds vaker zijn er ook modulerende uitvoeringen te verkrijgen. Door deze voorzieningen halen VR-ketels een rendement dat aanzienlijk hoger ligt dan dat van conventionele ketels. Het rendement dat met een VR-ketel behaald kan worden is circa 0,8 op de calorische bovenwaarde van aardgas.

Bij de VR-ketel hebben de verbrandingsgassen die de ketel verlaten een temperatuur van 160°C tot 280°C. De verbrandingsgassen en de daarin aanwezige waterdamp bevat dus nog veel nuttige energie. De hoogrendement ketel (HR-ketel) gebruikt deze energie grotendeels. Het rendement dat met een HR-ketel behaald kan worden is circa 0,95 op de calorische bovenwaarde van aardgas.

De warm tapwatervoorziening kan gecombineerd worden met de cv-ketel of los worden gereguleerd.

Bij een combinatie wordt gesproken van een combi-ketel. Dit kan zowel een VR- als een HR-combiketel zijn. Volgens BAK 1998 [Huiskamp 1999] is bijna 70% van de geïnstalleerde cv-installaties een combi-installatie.

Het opwekkingsrendement voor warm tapwater varieert van 45 tot 65% [Sipma 1997].

Luchtverwarming

Bij luchtverwarming wordt ventilatielucht verwarmd en via een kanalenstelsel door de woning verspreid. Moderne HR-luchtverwarmingssystemen halen een rendement van 109% op de onderwaarde [Brink Luchtverwarming B.V. 2000b]. Het elektriciteitsgebruik voor ventilatoren en eventueel een pomp(bij een indirect gestookte systeem) kan variëren van circa 400 tot 1000 kWh per jaar per woning bij wisselstroom ventilatoren. Met gelijkstroomventilatoren wordt het elektriciteitsgebruik t.o.v. wisselstroomventilatoren ongeveer gehalveerd [NOVEM 2000b].

Bij luchtverwarming is de ventilatie geïntegreerd met het verwarmingssysteem, waardoor het energiegebruik voor ventilatie wegvalt. Tevens kan airconditioning eenvoudig met luchtverwarming gecombineerd worden. Het opgenomen vermogen van zo'n koeleenheid bij een heteluchtverwarming is circa 0,4 kW per kW koelvermogen [Brink Luchtverwarming B.V. 2000a].

Warmtepompen

Warmte stroomt van nature van hoge temperatuur naar lage temperatuur. Met behulp van een warmtepomp kan echter de stroming omgekeerd worden, waarbij een relatief kleine hoeveelheid energie gebruikt wordt om de warmtepomp aan te drijven. De aandrijving kan zowel elektrisch als door verbranding van gas.

Warmtepompen halen de warmte uit natuurlijke bronnen in de omgeving, zoals omgevingslucht, de bodem, oppervlaktewater, grondwater of warmte afkomstig van menselijk handelen, zoals afvalwarmte uit een industrie. De efficiëntie van een warmtepomp is sterk afhankelijk van het temperatuurverschil dat moet worden overbrugt. Dit temperatuurverschil wordt enerzijds bepaald door de soort bron en anderzijds door de gewenste warmtedistributietemperatuur. Over het algemeen geldt hoe hoger de temperatuur van de bron en hoe lager de warmtedistributietemperatuur hoe beter de efficiëntie (zie Tabel 4). Bovendien is de warmteoverdracht bij lucht als warmtebron slechter dan bij een ander medium van dezelfde temperatuur. Dit komt doordat de warmtegeleiding van lucht kleiner is dan die van bijvoorbeeld water. De prestaties van een lucht-water warmtepomp liggen doorgaans 10% tot 30% lager dan die van een water-water warmtepomp.

Het voordeel van lucht als warmtebron is echter de beschikbaarheid. Buitenlucht is overal aanwezig en wordt in het buitenland dan ook het meest toegepast als warmtebron. Bovendien vergt het een minder grote investering, dan de meeste andere warmtebronnen. Een nadeel is dat naarmate de buitenlucht kouder wordt de warmtevraag groter zal worden.

Tabel 4: Voorbeeld van de variatie van de COP van een water-water (grondwater van $\pm 7^\circ\text{C}$) warmtepomp met de vereiste warmtedistributietemperatuur

Warmtedistributiesysteem (levertemperatuur)	COP
Vloerverwarming (35°C)	4.0
Moderne radiatorsysteem (45°C)	3.5
Conventionele radiatorsysteem (60°C)	2.5

Bron: [www: Heatpumpcentre 1997]

Ook kan een warmtepomp soms voor koeling worden gebruikt, waarbij de warmte naar buiten wordt getransporteerd. Dan wordt er gesproken van een warmtepomp-airconditioner.

Voor warmtepompen bestaan grofweg twee soorten systemen: de compressiewarmtepomp en de absorptiewarmtepomp. De “steady-state” prestatie van een warmtepomp wordt uitgedrukt in de term “coëfficiënt of performance” (COP) Deze is gedefinieerd als het quotiënt tussen geleverde warmte en de opgenomen energie.

De elektrische warmtepomp heeft vanwege het lage rendement van de elektriciteitsopwekking een rendement van minimaal 3,0 nodig om primaire energie te besparen t.o.v. een HR-ketel. De COP van de gasgestookte absorptiewarmtepomp bedraagt in praktijktests ruim 1,4.

Voor beide systemen, dat het energiegebruik van pompen en ventilatoren niet te verwaarlozen is. Dit bedraagt zo'n 5 tot 20% van het totale energiegebruik, afhankelijk van het ontwerp en de dimensionering van het systeem [NOVEM 2000b].

Micro-WKK

Bij warmtekrachtkoppeling wordt gelijktijdig warmte en elektriciteit opgewekt. Micro-wkk kan dit in hoeveelheden doen, die geschikt zijn voor gebruik in één huishouden. Dit heeft als voordeel dat een uitgebreid warmtedistributienet achterwege kan blijven, waardoor de aanleg kosten lager zijn en verliezen kleiner zijn dan bij grotere warmtekrachtinstallaties.

Net als mini-WKK is micro-WKK warmtevraag volgend. Dat houdt in dat de installatie de hoeveelheid warmte levert, die gevraagd wordt. Elektriciteit is min of meer een

bijproduct, dat nuttig gebruikt kan worden. Hierdoor is een elektriciteitsaansluiting nog steeds nodig, om bij weinig warmtevraag zoals in de zomer elektriciteit te kunnen leveren en eventueel bij grote warmteproductie de te veel geproduceerde elektriciteit op te nemen.

Voordelen van micro-WKK zijn:

Het hoge rendement. Doordat zowel warmte als elektriciteit in één apparaat worden opgewekt, zijn de verliezen kleiner dan bij gescheiden opwekking.

Elektriciteitskabels naar nieuwe huizen en wijken kunnen lichter ontworpen worden, doordat een deel van de elektriciteit ter plaatse opgewekt wordt.

Voor WK-installaties zijn verschillende technieken beschikbaar. Op dit moment zijn de volgende drie het meest ver in ontwikkeling: de gasmotor, de stirlingmotor en de brandstofcel.

Tabel 5: Rendementen en mogelijke brandstoffen in enkele WK-installaties

WK-installatie	Rendementen		Brandstof
	Elektrisch (%)	Totaal (%)	
Gasmotor	10	90	Gas
Stirlingmotor	14	90	Gas
Brandstofcel*	36	90	Gas, vloeibare, H ₂

* Omdat brandstofcellen worden gevoed met waterstof, moeten de andere mogelijke brandstoffen m.b.v. een "converter" naar waterstof worden omgezet.

3.4.5 *Duurzame energie*

Het gebruik van duurzame energie op het niveau van de woning beperkt zich op dit moment tot het gebruik van zonne-energie. Hoewel er hier en daar ontwikkelingen worden gesignaleerd op het gebied van kleine windturbines [Valk 2000] zijn deze nog niet markt rijp (zie ook 3.4.6).

Zonneboilers

Zonneboilers worden meestal gedimensioneerd op een dekking van circa 50% van de energiebehoefte voor warm tapwater. Bij hogere dekking is een zonneboiler onevenredig duur. Uitzondering hierop is de zonneboilercombi de zonneboiler gecombineerd wordt met de CV-installatie, zodat ook het water voor ruimteverwarming ermee opgewarmd wordt.

Zonneboilers worden in verschillende uitvoeringen geleverd. Bij alle uitvoeringen is een voorraadvat

van 100 tot 120 liter nodig. Bij de zonneboilercombi is dit ongeveer 250 liter. De opbrengst van de zonnecollectoren is afhankelijk van de richting t.o.v. het zuiden en de hellingshoek waaronder ze staan opgesteld.

Zonneboilers zijn al goed uitontwikkeld en technische vooruitgang zal de opbrengst niet veel meer verbeteren.

Zonnepanelen (PV)

Net zoals bij zonneboilers is de opbrengst van een zonnepaneel afhankelijk van de hellingshoek van het paneel en de richting waarin het paneel staat.

Een gangbaar zonnepaneel van 1 m² heeft een zogenaamd piekvermogen van 100 Watt-piek. Het piekvermogen is het maximale vermogen dat bij maximale zon-instraling onder vastgestelde condities wordt geleverd. Een netgekoppeld PV-systeem levert in Nederland ongeveer 80 kWh per jaar. De opbrengst van een netgekoppeld pv-systeem

van 4 m² komt overeen met 10% van het gemiddeld huishoudelijk elektriciteitsverbruik of met het verbruik van een koelkast.

Aan PV-systemen wordt nog veel onderzoek gedaan, zodat de kostprijs nog zal dalen bij een stijgende opbrengst.

Warmteopslag

Het opslaan van warmte is een belangrijk onderdeel bij veel systemen voor duurzame energie en energie-efficiënte installaties. Door het opslaan van warmte wordt het rendement van die systemen aanzienlijk vergroot.

Op woningniveau is in verband met de hoge kosten van lange termijn opslag alleen korte termijn opslag relevant. Korte termijn opslag wordt over het algemeen in een watervat gedaan. Hierbij koelt het water slechts langzaam af, doordat het opslagvat goed geïsoleerd is.

Een ander systeem is opslag in zouten. Hierbij wordt warmte opgeslagen, door gebruik te maken van faseverandering van zouten. Dit systeem is nog zeer duur en wordt daarom slechts experimenteel gebruikt.

Elektriciteitopslag

Het probleem van elektriciteit uit natuurlijke hulpbronnen is de afhankelijkheid van het weer. Windturbines leveren alleen voldoende elektriciteit bij een stevige maar ook weer niet te sterke wind. PV-systemen kunnen slechts voldoende vermogen leveren bij genoeg zonlicht. Dat is meestal 's zomers, wanneer de elektriciteitsvraag laag is. 's Avonds de verlichting voeden met PV is alleen mogelijk met een opslagsysteem.

Daarom zou het handig zijn de elektriciteit op te kunnen slaan. Met lood accu's is voor voldoende opslagcapaciteit echter al snel een kamer vol nodig, daarom wordt er gezocht naar andere systemen van elektriciteitopslag.

3.4.6 Toekomstige ontwikkelingen

De verwachting is dat de EPN steeds verder aangescherpt zal worden. Het gevolg hiervan zal zijn dat het energie aandeel van warm tapwater steeds groter worden zal. Dit kan weer negatieve gevolgen hebben voor de introductie van de warmtepomp.

Een aantal van de ontwikkelingen die in de (nabije) toekomst een (grotere) rol kunnen gaan spelen zijn hierboven reeds beschreven. Warmtepompen en op gasmotoren gebaseerde Micro-WKK staan op doorbreken en worden in demonstratie projecten reeds toegepast. De brandstofcel is nog in de testfase maar wordt verwacht binnen enkele jaren door te breken. Voor waterstof geldt het zeker dat dit nog jaren op zich zal laten wachten. Hoewel het nu reeds technische mogelijk is om waterstof bij te mengen met aardgas voor ruimteverwarming en koken, heeft dit uit het oogpunt van duurzaamheid vooralsnog geen zin. Pas als dit waterstof duurzaam wordt geproduceerd m.b.v. zon, wind of biomassa of wordt geproduceerd uit fossiele bronnen in combinatie met CO₂-opslag kan dit een positief op het milieu hebben.

Wat betreft duurzame energie, naarmate zonnecellen in grotere hoeveelheden geproduceerd gaan worden zullen ze goedkoper worden. Ook de efficiëntie van fotovoltaïsche cellen kan nog omhoog zodat de opbrengst omhoog gaat. Een andere ontwikkeling zijn gekoelde zonnepanelen. Omdat de opbrengst van zonnepanelen stijgt bij lagere temperaturen kunnen ze worden gekoeld. Hierbij kan het koelwater gebruikt worden voor verwarmingdoeleinden. Deze techniek is nog in de ontwikkelingsfase.

Ook op het gebied van kleinschalige windenergie wordt nog ontwikkeld. Voorbeelden hiervan zijn de Catavent en de Solarvision. Dit zijn twee experimentele systemen, die compact zijn, waardoor ze beter in de gebouwde omgeving zijn in te passen.

De Catavent is een systeem van boven elkaar geplaatste eenheden van 2,5 of 5 kW. Een eenheid bestaat uit een luchtinlaat en -uitlaat met een horizontaal schoepenrad. Hierdoor is deze compacter dan een traditionele windturbine [ECN 2000].

De Solarvision, een uitvinding van ing. H.J. van Duin is een kleine windvangende turbine met zonnepanelen die de ingevangen lucht verwarmen. Hierdoor heeft het een rendement van rond de 50%. Dat is twee maal zo veel als een gewone windturbine. Berekend is een opbrengst van 12.000 kWh per jaar bij doorsnede van 60 cm. Hierdoor is hij geschikt om drie eengezinswoningen van elektriciteit te voorzien [Valk 2000].

Naarmate er meer en grotere zonnepanelen worden geïnstalleerd zal de vraag naar kleine opslagsystemen toenemen. Het terug leveren aan het net wat op dit moment nog niet tot problemen leidt zal mogelijk in de toekomst bij een grootschalige introductie van zonnepanelen moeilijker worden. Opslag kan in dit geval uitkomst bieden. Naast de hierboven reeds genoemde loodaccu zijn er enkele ontwikkelingen op dit gebied gaande:

- Een project om elektrische energie met behulp van perslucht op te slaan. Met een cyclusrendement van 78% [Energietechniek 2000a].;
- Door het bedrijf Crycle Cryogenic Development wordt een installatie getest om 's nachts+ elektriciteit op te kunnen slaan om overdag te gebruiken. In het zo genaamde Off Peak Power kastje kan 3 tot 6 kWh opgeslagen worden [Energietechniek 2000d].

4 Conclusies

Dit deel moet de basis vormen voor deel twee van dit onderzoek naar een optimale en duurzame energie-infrastructuur. In het tweede deel van dit onderzoek wordt een model ontwikkeld. De bevindingen in deze systeem studie betreffende de 4 schaalniveau's moeten dus worden doorvertaald naar het te ontwikkelen model.

In dit slothoofdstuk wordt per schaalniveau kort beschreven welke systeemparameters, technieken e.d. in het model worden opgenomen.

4.1 Internationaal

Liberalisering, Kyoto-doelstelling en brandstofprijzen zijn de drie belangrijkste ingrediënten uit paragraaf 3.1. De variabelen die hieruit te destilleren zijn met betrekking tot de energie-infrastructuur van een wijk zijn:

De ERE waarde en de bijbehorende CO₂-emissie van de elektriciteit die in een bepaalde wijk wordt geleverd. Dit om een goede afweging te kunnen maken tussen de inzet van lokaal en centraal opgewekte elektriciteit. Als gevolg van de Liberalisering is het niet meer correct om waarden van het Nederlandse productiepark te nemen. Deze waarden zullen per distributiebedrijf gaan verschillen. Verder zijn deze waarden ook nog dynamisch van aard en hier dan ook rekening mee gehouden moeten worden.

De wereldmarkt brandstofprijzen spreken natuurlijk voor zich. Deze prijzen zullen mede bepalend zijn of een bepaalde techniek economisch uit kan of niet.

Daar ook analyses voor toekomstige situaties doorgerekend moeten kunnen worden, moeten ook toekomstig interessante energiedragers zoals waterstof meegenomen worden.

4.2 Nationaal

Op het nationale schaalniveau zijn het met name de regelgeving rond bouwbesluiten en stimuleringsmaatregelen die doorwerken naar het schaalniveau van onderzoek.

De Energie Prestatie Norm is de meest expliciete op het gebied van de bouwbesluiten. Wat betreft de stimuleringsmaatregelen, hieronder vallen natuurlijk alle nationale subsidies rond isolatie en implementatie van duurzame energie. Het programma Thermische Zonne-Energie is hiervan een sprekend voorbeeld.

In het te ontwikkelen model zullen deze terug te vinden zijn enerzijds als minimum eisen (EPN) en anderzijds in de financiële balans van een gekozen inrichting van een wijk.

Nationale ontwikkelingen op het gebied van grootschalige projecten rond duurzame energie werken op dezelfde manier door als ook op het internationale schaalniveau het geval is m.b.t. CO₂-emissie en ERE-waarden.

4.3 Lokaal: de wijk

De wijk, het doel van onderzoek naar een optimale en duurzame energie-infrastructuur. Alle modelberekeningen, als resultaat van keuzes op alle vier de schaalniveaus, worden naar de wijk die centraal staat toegerekend. Alle keuzes die in de paragraaf over dit schaalniveau beschreven staan zijn natuurlijk ook van belang voor het te ontwikkelen model. Op de eerste plaats zal de locatie en de omgevingsfactoren moeten worden vastgelegd om een goede beschrijving van de wijk te geven en daarmee ook de mogelijkheden die wijk heeft af te bakenen. Na de omgeving is de inrichting van de

wijk zelf aan de beurt: oppervlakte verkaveling aantal woningen .e.d.. Hierna komen pas de te maken keuzes omtrent de inrichting van de energie-infrastructuur aan bod. Het energieaanbod op dit niveau moet uitgebreid gemodelleerd worden, de keuze voor een collectief of een individueel systeem wordt ook op dit niveau gemaakt. Wat betreft de opwekkingstechnieken wordt niet alleen gedacht aan elektriciteit en warmte op traditionele wijze, maar ook aan nieuwe bronnen zoals zon, wind, waterstof en nieuwe opwektechnieken zoals WKK, warmtepompen en brandstofcellen. Tevens moeten warmte en eventueel koude opslag ook meegenomen kunnen worden.

4.4 De woning

Uit het vorige schaalniveau is reeds bekend hoeveel en wat voor type woningen er gebouwd zullen gaan worden. Afhankelijk van de gewenste EPC van de woningen kan de mate van isolatie van de woningen worden bepaald. Warmtevraag van de woning vervolgens gekarakteriseerd door inhoud, type woning isolatie en standaardgebruik. Aan deze energievraag moet vervolgens aan worden voldaan. Is er in het hogere schaalniveau gekozen voor individuele verwarming dan moet op dit schaalniveau de precieze invulling hieraan worden gegeven.

Andere opties die in dit niveau aan bod zullen komen zijn zonnecollectoren, zonnecellen en warmteterugwinningsinstallaties.

4.5 Slotopmerkingen

Dit concluderend hoofdstuk is deels een samenvatting van hoofdstuk 3 maar het is ook meer. Het vormt een opzet voor het te ontwerpen model. Daar het model ook in staat moet zijn om de ontworpen wijk, ook voor een zeker moment in de toekomst, te beoordelen op het optimale en duurzame karakter, zijn scenario studies nodig. De relatie van de drie schaalniveau's ten opzicht van het doel niveau (de wijk) kan als volgt kort worden samengevat:

- Internationaal: energie en CO₂ scenario's;
- Nationaal: bestuurlijke randvoorwaarden;
- Lokaal: lokale randvoorwaarden en wijkbrede keuzes;
- De woning: gedetailleerde invulling.

Referenties

- ATAG (1994). *ATAG, Blauwe Engel*. ATAG verwarming BV, Lichtenvoorde.
- Baeten, P. (2000a). De CO₂-boekhouding rammelt, *Technisch weekblad*, **31** (44),
- Baeten, P. (2000b). Waterstof biologisch geproduceerd, *Technisch weekblad*, **31** (49),
- Bakker, P. (1997). Aardgas uit het stopcontact. Een verrassend nieuwtje., *Blauwdruk*, **2** pp. 28-33.
- Bergsma, G en Croezen, H (2000). Geen waterstof zonder CO₂-opslag, *Energietechniek*, **78** (2), pp. 70-73.
- Boels, L., Bergsma, G., en Verlinden, J. (1996). Warmtelevering delft onderspit in liberale energiemarkt, *Energie- en milieuspectrum*, (11), pp. 22-25.
- Brink Luchtverwarming B.V. (2000a). *Koeling - Topkoeling*. Brink Luchtverwarmin B.V., Staphorst.
- Brink Luchtverwarming B.V. (2000b). *Luchtverwarming in de particuliere woningbouw*. Brink Luchtverwarming B.V., Staphorst.
- Centrum voor energiebesparing en schone technologie (1998). *De balans van warmte en kracht*. Rapportnr.: 3.427.1. Centrum voor energiebesparing en schone technologie, Delft.
- Creemers, B. en Kop, L. (2000). Micro-wkk op basis van de PEM-brandstofcel, *Gas*, (4), pp. 36-39.
- Dril, A. W. N. van, Rijkers, F A M , en Battjes, J J (2000). *Toekomst warmtekrachtkoppeling (Actualisatie betreffende tarieven DTe en REB)*. Rapportnr.: ECN-C--00-022. ECN, Petten.
- Dril, A. W. N. van, Rijkers, F A M , Battjes, J J, en Raad, A de (1999). *Toekomst warmtekrachtkoppeling (Verkenning van de economische aantrekkelijkheid in een geliberaliseerde energiemarkt)*. Rapportnr.: ECN-C--99-086. ECN, Petten.
- DTE, (1999). *Vragen van Akker (CDA) aan minister van economische zaken* <http://www.nma-dte.nl/nl/nieuws/1999/pb020399.htm>
- ECN (2000). *Energie Verslag Nederland 1999*. ECN, Petten.
- Energie Nederland (2000). Medio 2002 duizend MW extra grenscapaciteit, *Energie Nederland*, **3** (14), pp. 6.
- Energieconsulent (2000). REB-tarieven hoger dan eerder was aangekondigd, *Energieconsulent*, (10), pp. 5 .
- Energiemanagement, (2000a). *Epon wil nieuwe vergassingsinstallatie bouwen* <http://www.energiemanagement.net/default.asp?ItemID=1079>
- Energiemanagement, (2000b). *Gasunie verdient dubbel aan Brits gas* <http://www.energiemanagement.net/default.asp?ItemID=1175>
- Energiemanagement, (2000c). *Vele duizenden Britse energiekanten wisselen van provider* <http://www.energiemanagement.net/default.asp?ItemID=1014>
- EnergieNed (1998). *Resultaten Milieu Actie Plan 1998*.
- EnergieNed, (2001). *Graaddagen in Nederland* <http://www.energiened.nl/graaddag>
- Energietechniek (2000a). Hydropneumatische energieopslag, *Energietechniek*, **78** (5), pp. 245.
- Energietechniek (2000b). Oude importcontracten nog een probleem, *Energietechniek*, **78** (5), pp. 233.
- Energietechniek (2000c). Storingen VS Studie, *Energietechniek*, **78** (11), pp. 531.
- Energietechniek (2000d). Stroomopslag voor huishoudens, *Energietechniek*, **78** (7), pp. 339.

- Energietechniek (2000e). Warmtekracht krijgt steuntje in de rug, *Energietechniek*, **78** (11), pp. 518.
- Feber, M. A. P. C. de en Gielen, D. J. (2000). *Biomass for greenhouse gas emission reduction*. Rapportnr.: ECN-C--99-078. ECN,
- Gasunie, (2000). *Voormalig KPN-topman Wim Dik gaat versnelling energieliberalisering begeleiden*
http://www.gasunie.nl/nl/p_ac_pe.asp#44
- Gelder, J. W. van (2000). Europese discussie over stimulering duurzame energie nog onbeslist, *Gas*, (7), pp. 6-12.
- Greenprices, (2001). *European trade of Renewable Energy Certificates to start in April 2001*
<http://www.greenprices.com/eu/newsitem.asp?nid=101>
- Hart D, Freund P, Smith A (1999). *Hydrogen - today and tomorrow*. IEA Greenhouse Gas R&D Programme,
- Heatpumpcentre, (1997). *Heatpumps*
<http://www.heatpumpcentre.org/hpctech.htm>
- Hirsch, H. en Targulian, O. (2000). *Cutting Losses - a win/win-scenario for Russia*. Greenpeace,
- Holsteijn, R. C. A. van, Tak, M. P. W., en Li, W. (1999). *Gasconcepten (voor de zichtjaren 2000 2010 2020); Een toekomstvisie op energiebesparingsmogelijkheden in de wonigbouw, gebaseerd op gastoeepassingen*. Van Holsteijn en Kemna B.V., Delft.
- Huiskamp, G. E. (1999). *Basisonderzoek Aardgasverbruik Kleinverbruikers BAK 1998*. Rapportnr.: M&C 99-323. EnergieNed, Arnhem.
- Koevoet, H. (1999). Liberalisering energiemarkten in stroomversnelling, *Energieconsulent*, (12), pp. 1-5.
- KPMG (1999). *Solar Energy: from perennial promise to competitive alternative*. KPMG,
- Lensink, S. M. (1998). *Warmtevraag van woningen*. Rapportnr.: DV-74. IVEM, Rijksuniversiteit Groningen, Groningen.
- Lokhorst, A (1999). Aarde als warmtebron (Aardwarmtecentrale pompt energie uit aquifers), *Energietechniek*, **77** (12), pp. 680-683.
- Meyer, L. A (1981). *Energiebesparing in de sociale woningbouw, besparing op ruimteverwarming in theorie en praktijk*. Thesis, Groningen.
- Ministerie van economische zaken (1998). *Energiebesparingsnota 1998*. Ministerie van economische zaken, Den Haag.
- Ministerie van economische zaken (1999a). *Convenant benchmarking energie-efficiency*.
- Ministerie van economische zaken (1999b). *Energierapport 1999*.
- Ministerie van economische zaken (2001). *Energie en samenleving in 2050: Nederland in wereldbeelden*. Ministerie van Economische zaken, Den Haag.
- Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer et al. (2000). *Nationaal Milieubeleidsplan 4*. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag.
- Nederlands Normalisatie-instituut (1998). *NEN 5128: 1998 (Energieprestatie van woningen en woongebouwen - bepalingmethode)*. Nederlands Normalisatie-instituut,
- Nefit (1996). *Nefit Ecomline. Alle records gebroken*. Nefit Fasto, Deventer.
- NOVEM (2000a). *OEI: de aanpak*. NOVEM, Utrecht.
- NOVEM (2000b). *Vademecum Energiebewust ontwerpen van nieuwbouwwoningen*. NOVEM, BOOM,

- Ogden JM (1999). Prospects for Building A Hydrogen Energy Infrastructure, *Annual Review Energy Environment*, **24** pp. 227-279.
- Pijkeren, G van. en Hegge, R. (1998). Micro-wk:van idee tot werkelijkheid, *Gas*, (4), pp. 32-34.
- Projectbureau duurzame energie, (2000a). *Biomassa en afval - Beleid*
http://www.pde.nl/over-energie/be/bioenergie_6.html
- Projectbureau duurzame energie, (2000b). *Convenant voor wind op land in de maak*
<http://www.pde.nl/over-energie/we/I523.html>
- Projectbureau duurzame energie, (2000c). *Energie-opslag - Energie-opbrengst*
http://www.pde.nl/over-energie/eo/energie-opslag_3.html
- Projectbureau duurzame energie, (2000d). *Zonnestroom naar 50 cent per kWh*
<http://www.pde.nl/over-energie/zp/I529.html>
- Roggen, M (2000). Big Bang voor zonnecellen, *Energietechniek*, **78** (2), pp. 58-60.
- Universiteit Leiden, (1999). *Zonneceltechnoloog Wim Sinke ontvangt Koninklijke/Shell prijs*
<http://www.wi.leidenuniv.nl/~verrynst/Shell-Pers.html>
- Sipma, J M (1997). *Primaire energiebesparing binnen huishoudens door toepassing van 'nieuwe' verwarmingstechnieken*. Rapportnr.: DV-72. IVEM, Rijksuniversiteit Groningen, Groningen.
- Stalpers, J (2000). Biogas voor brandstofcel, *Technisch weekblad*, **31** (21), pp. 7.
- Stam, B (2000). Biomassacentrale in Lelystad, *Technisch weekblad*, **31** (49),
- Tennet (2000). *TenneT Jaarverslag 1999*. Tennet BV, Arnhem.
- Tennet, (2001). *Wettelijk kader voor marktwerking*
<http://www.tennet.nl/html/nl/ni3/home.htm>
- Tolsma, H (1999). Elektriciteit geen eenheidsworst, *Technisch weekblad*, pp. 11.
- Uyterlinde, M. A. en Jeeninga, H. (2000). *Leefstijl en Huishoudelijk Energieverbruik. Een kwalitatief onderzoek naar de relatie tussen leefstijl en energieverbruik bij bewoners van energiezuinige woningen*. Rapportnr.: ECN-C--00-083. ECN, Petten.
- Vaillant (1996). *Meer dan hoog rendement*. Vaillant, Amsterdam.
- Valk, B van der (2000). Efficiënte Solarviciön vangt wind- en zonne-energie, *Technisch weekblad*, pp. 4.
- Veld, P op 't (2000). HR-wtw in de EPN, *Verwarming en ventilatie*,
- Vermeer, B. (1996). Contouren van micro-warmtekracht worden zichtbaar, *Gas*, (7), pp. 18-21.
- Vermeulen, P. E. J. (1981). *Benodigde meteorologische gegevens voor windenergie toepassingen. Deel I: Opbrengstberekeringen*. Rapportnr.: 81-012249. TNO, Apeldoorn.
- VEWIN (1995). *Het waterverbruik thuis*. Rapportnr.: Q-213. VEWIN, Rijswijk.
- VEWIN (1999). *Nederlanders gaan zuiniger met water om*. Rapportnr.: A-3641-43. VEWIN, Rijswijk.
- Vriez, E de (2000). Noordzee als windpark, *Energietechniek*, **78** (4), pp. 204-207.
- Zonnewarmte, (2000). *Nationaal Beleid Zonneboilers*
<http://www.zonnewarmte.nl/Beleid/nationaal.html>

Bijlage A: Warmteverliesberekeningen

Transmissieverliezen

De totale transmissieverliezen van een woning worden gegeven door [Nederlands Normalisatie-instituut 1998]:

$$H_{transmissie} = \sum_i a_i A_i U_i \quad [\text{W/K}]$$

A_i is het verliesoppervlakte, U_i is de warmtedoorganscoëfficiënt van de constructie en a_i is een weegfactor.

Hoe lager de transmissie van een woning hoe beter het geïsoleerd is. Hiervoor moeten de U -waarden van de constructies dus zo laag mogelijk zijn.

De U -waarde van een constructie wordt berekend aan de hand van de warmteweerstand van het materiaal, de zg. R_c -waarde en een correctie voor weersinvloeden (wind). In formule geldt het volgende verband [Lensink 1998]:

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{\sum R_i + \sum R_c}$$

Ventilatieverliezen

Het warmteverlies door ventilatie wordt in de meest simpele vorm gegeven door:

$$H_{ventilatie} = \rho c \sum q_i$$

Hierbij is Δ de dichtheid van lucht ($1,2 \text{ kg/m}^3$) en c is de soortelijke warmte van lucht (1000 J/(kgK)), q_i is de lucht volumestroom per ruimte in m^3/s . Deze hangt in NEN 5128 af van het gebruiksoppervlakte van de ruimte.

Ook kan bij mechanische ventilatie de toegevoerde lucht verwarmd worden, waarvoor NEN 5128 een reductiefactor voor q_i heeft ingebouwd. Deze is afhankelijk van het rendement waarmee de lucht door de zon (bijvoorbeeld door een serre) of door warmteterugwinapparatuur (ventilatiesysteem met mechanische toe- en afvoer) wordt opgewarmd.

Uiteindelijk is de warmtebehoefte het verschil tussen de warmteverliezen en de warmtewinst. De warmtewinst is niet afhankelijk van de buitentemperatuur, maar de verliezen wel. Het warmteverlies wordt berekend met de volgende formule:

$$Q_{verlies} = H_{verlies} \Delta T \Delta t$$

Hierin is ΔT het temperatuurverschil tussen binnen en buiten en Δt de tijdsduur dat dit verschil geduurd heeft. Zonder interne warmteproductie zal bij een lagere buitentemperatuur dan de binnentemperatuur bijgestookt moeten worden. Meestal wordt in modellen, die de graaddagenmethode gebruiken, rekening gehouden met een interne warmteproductie, waarbij de buitentemperatuur waarbij gestookt moet worden $15,5^\circ\text{C}$ is (de stookgrens). Omdat in de graaddagenmethode de interne warmteproductie al impliciet wordt meegeteld via de stookgrens van $15,5^\circ\text{C}$, moet bij deze methode interne warmte niet expliciet meegenomen worden.

Doordat men in NEN 5128 een stookseizoen neemt van 1 oktober tot 30 april en een ΔT van $18 - 5 = 13^\circ\text{C}$, rekent NEN 5128 met $\Delta T = 238 \text{ K}$.

Bijlage B: EPN

Eind 1995 is NEN 5128, de Energie Prestatie Norm (EPN) met het bijbehorende rekenprogramma NEN 5129, uitgekomen. In de norm staat aangegeven hoe de energie prestatie van een woning kan worden bepaald. De energie prestatie wordt uitgedrukt in de EPC, de energieprestatiecoëfficiënt. Dit is een getal dat de energieprestatie van een nieuwbouw woning aangeeft. Deze wordt berekend op basis van de gebouwweigenschappen, de gebouwgebonden installaties en een gestandaardiseerd bewonersgedrag. Hoe lager de EPC hoe energiezuiniger de woning of het woongebouw (bijv. appartementencomplex) is.

Sinds 1 januari 2000 mag de EPC van een nieuwbouwwoning maximaal 1,0 bedragen. Het overheidsbeleid is er op gericht de komende jaren de EPC verder te laten dalen. Dit is zeker mogelijk met de huidige bouwpraktijk.

De EPC is een quotiënt van het zogenaamde karakteristieke energiegebruik en het genormeerde energiegebruik.

$$EPC = \frac{Q_{\text{totaal}}}{Q_{\text{toelaatbaar}}} = \frac{\text{berekend energiegebruik volgens NEN 5128}}{\text{maximaal toelaatbaar energiegebruik}} = \frac{Q_{\text{totaal}}}{65 \times A_{\text{verlies}} + 330 \times A_{\text{gebruik}}}$$

A_{verlies} = verliesoppervlakte [m^2]

A_{gebruik} = gebruiksoppervlakte [m^2]

De EPC-berekening is zo opgezet, dat de EPC voor verschillende woningen met gelijke technische voorzieningen en oriëntatie (bij benadering) gelijk is. Dus bij gelijke voorzieningen en oriëntatie heeft een grote vrijstaande woning dezelfde EPC als een klein rijtjeshuis. Het energiegebruik van de beide woningen, zowel het karakteristieke als het genormeerde, is natuurlijk wel verschillend.

Naast de prestatie-eis, een EPC beneden de 1, zijn slechts drie aanvullende eisen betreffend de minimale isolatie en ventilatie van een woning. Verder mag zelf bepaald worden hoe de EPC-eis van 1,0 gehaald wordt. Dit kan door aanpassingen in de constructie of de installatie van de woning gebeuren. Als bijvoorbeeld door middel van extra isolatie energie bespaard wordt kan een VR-ketel i.p.v. een HR-ketel wil gebruikt worden, of indien een warmteterugwinningseenheid in de ventilatie gebruikt wordt, kan de isolatie wat minder grondig.

Bijlage C: verwarmingstechnieken

Lokale verwarming

Lokale verwarming met behulp van gas- of elektrische kachels zal in nieuwbouwwoningen bijna niet meer voorkomen, aangezien in nieuwbouw eigenlijk altijd centrale verwarming geplaatst wordt. Bij een elektrische kachel zal het rendement gelijk zijn aan het rendement waarmee de elektriciteit wordt opgewekt. Bij een gaskachel geeft NEN 5128 een rendement van 0,65.

HR en VR-ketels

In nieuwbouwwoningen zullen indien cv-ketels geplaatst worden, altijd minimaal verbeterd rendement ketels (VR-ketels) geplaatst worden. Deze hebben niet meer zoals de oude conventionele ketels last van stilstand verliezen en stralings- en convectie verliezen. Bovendien hebben bijna alle moderne ketels ook elektronische ontsteking, zodat gasverbruik door een waakvlam ook niet op treedt. Door deze voorzieningen halen VR-ketels een rendement dat aanzienlijk hoger ligt dan dat van conventionele ketels. Vaak zijn VR-ketels ook in een modulerende uitvoering te krijgen. Moduleren wil zeggen, dat de vlam niet uitsluitend ‘aan’ of uit kan, maar ook kan variëren in hoogte. De ketel kan bijvoorbeeld tot ongeveer 40% van zijn maximale vermogen terugmoduleren. Dit heeft een aantal voordelen.

In de praktijk wordt ruim 80% van de tijd minder dan 50% van het vermogen van de ketel gevraagd [Nefit 1996]. Een Niet modulerende ketel gaat dan vaak aan en uit. Hierdoor worden veel koude starts gemaakt, waarbij de verbrandingskamer steeds weer opgewarmd moet worden.

Ook resulteert een aan/uit regeling in “over-shoots”, d.w.z. hogere ruimtetemperaturen dan gewenst. Door terug te moduleren zal de ketel langer branden met minder vermogen. De radiator temperatuur zal hierdoor lager zijn, maar langer warm blijven. Hierdoor komt de temperatuur minder vaak boven de gewenste temperatuur. Het rendement dat met een VR-ketel behaald kan worden is circa 0,8 op de calorische bovenwaarde van aardgas.

Bij de VR-ketel hebben de verbrandingsgassen die de ketel verlaten een temperatuur van 160°C tot 280°C. De verbrandingsgassen en de daarin aanwezige waterdamp bevat dus nog veel nuttige energie. De hoogrendement ketel (HR-ketel) bevat daarom nog een extra warmtewisselaar die de verbrandingsgassen en de waterdamp nog verder afkoelen. Hierdoor condenseert de waterdamp, waarbij nog veel warmte vrijkomt. Het condenswater wordt door de ketel opgevangen en afgevoerd.

Deze condensatie lukt echter alleen wanneer het terugkerende water van de radiatoren een temperatuur lager dan 60°C heeft [Vaillant 1996]. VR-ketels leveren vaak water met een temperatuur van 90°C, dat terug keert met een temperatuur van 70°C. Wanneer een HR-ketel wordt geïnstalleerd, wordt water geleverd met een temperatuur van 70°C, dat terug keert met een temperatuur van 55°C. In deze situatie zullen de radiatoren dus minder warm worden, waardoor een groter oppervlakte van de radiatoren nodig is om dezelfde binnentemperatuur te krijgen.

Het rendement van een HR-ketel stijgt met het afnemen van de radiatortemperatuur, terwijl het rendement van een VR-ketel juist licht stijgt bij een toenemende radiatortemperatuur [ATAG 1994]. Door deze eigenschap heeft de techniek van een modulerende ketel een gunstig effect op het rendement van een HR-ketel, doordat bij een lager vermogen ook een lagere watertemperatuur geleverd wordt.

De warm tapwatervoorziening kan gecombineerd worden met de cv-ketel of los worden gereguleerd.

Bij een combinatie wordt gesproken van een combi-ketel. Dit kan zowel een VR- als een HR-combiketel zijn. Volgens [Huiskamp 1999] is bijna 70% van de geïnstalleerde cv-installaties een combi-installatie.

Combiketels zijn in twee uitvoeringvormen te verkrijgen. De eerste is een combinatie van een ketel met een tapboiler. Hierbij loopt het tapwater door een spiraal, die aan de buitenzijde wordt opgewarmd door het water van de cv-ketel. Dit wordt ook wel een doorstoomtoestel genoemd. Het principe is te vergelijken met een geiser. Wanneer warm tapwater wordt gevraagd duurt het enige tijd voordat het water op de gewenste temperatuur is. Vanaf dat moment kan wel continu warm water getapt worden.

De tweede uitvoering heeft een extra vat dat gevuld is met een hoeveelheid tapwater. In dit vat bevindt zich een spiraal, waar het warme water van de ketel doorheen stroomt. Op deze manier blijft het water in het vat op temperatuur. Zo'n systeem wordt een cv-ketel met voorraadboiler genoemd. De geleverde hoeveelheid warm water per minuut bij dit systeem kan groter zijn dan bij een doorstoomtoestel, waardoor het systeem direct warm water kan leveren. Na verloop van tijd is het warme water in het voorraadvat echter verbruikt, waardoor het enige tijd duurt voordat de watervoorraad weer op temperatuur is. De noodzakelijke grootte van het voorraadvat wordt bepaald door het vermogen van de cv-ketel.

Moderne combiketels zijn voorzien van regelsystemen waardoor het wel mogelijk is om direct warm water te tappen, dat ook continu op de gewenste temperatuur blijft. Deze bestaan vaak uit een combinatie van een tapboiler en een voorraadboiler.

Het opwekkingsrendement van voorraadtoestellen is voor VR-ketel- respectievelijk de HR-ketel circa 45 en 55%. Voor doorstoomtoestellen gelden de volgende rendementen: circa 60 en 65% [Sipma 1997].

Luchtverwarming

Bij luchtverwarming wordt ventilatielucht verwarmd en via een kanalenstelsel door de woning verspreid. Moderne HR-luchtverwarmingssystemen halen een rendement van 109% op de onderwaarde [Brink Luchtverwarming B.V. 2000b]. Het elektriciteitsgebruik voor ventilatoren en eventueel een pomp (bij een indirect gestookte systeem) kan variëren van circa 400 tot 1000 kWh per jaar per woning bij wisselstroom ventilatoren. Met gelijkstroomventilatoren wordt het elektriciteitsgebruik t.o.v. wisselstroomventilatoren ongeveer gehalveerd [NOVEM 2000a].

Bij luchtverwarming is de ventilatie geïntegreerd met het verwarmingssysteem, waardoor het energiegebruik voor ventilatie wegvalt. Tevens kan airconditioning eenvoudig met luchtverwarming gecombineerd worden. Het opgenomen vermogen van zo'n koeleenheid bij een heteluchtverwarming is circa 0,4 kW per kW koelvermogen [Brink Luchtverwarming B.V. 2000a].

Warmtepompen

Warmte stroomt van nature van hoge temperatuur naar lage temperatuur. Met behulp van een warmtepomp kan echter de stroming omgekeerd worden, waarbij een relatief kleine hoeveelheid energie gebruikt wordt om de warmtepomp aan te drijven. De aandrijving kan zowel elektrisch als door verbranding van gas.

Warmtepompen halen de warmte uit natuurlijke bronnen in de omgeving, zoals omgevingslucht, de bodem, oppervlaktewater, grondwater of warmte afkomstig van menselijk handelen, zoals afvalwarmte uit een industrie. De efficiëntie van een

warmtepomp is sterk afhankelijk van de soort bron. Over het algemeen geldt hoe hoger de temperatuur van de bron hoe beter de efficiëntie. Bovendien is de warmteoverdracht bij lucht als warmtebron slechter dan bij een ander medium van dezelfde temperatuur. Dit komt doordat de warmtegeleiding van lucht kleiner is dan die van bijvoorbeeld water. De prestaties van een lucht-water warmtepomp liggen doorgaans 10% tot 30% lager dan die van een water-water warmtepomp.

Het voordeel van lucht als warmtebron is echter de beschikbaarheid. *Buitenlucht* is overal aanwezig en wordt in het buitenland dan ook het meest toegepast als warmtebron. Bovendien vergt het een minder grote investering, dan de meeste andere warmtebronnen.

Ook kan een warmtepomp soms voor koeling worden gebruikt, waarbij de warmte naar buiten wordt getransporteerd. Dan wordt er gesproken van een warmtepomp-airconditioner.

Voor warmtepompen bestaan grofweg twee soorten systemen: de compressiewarmtepomp en de absorptiewarmtepomp.

Prestatie indicatoren

De warmte die een warmtepomp kan leveren is de som van de warmte die uit de omgeving wordt opgenomen en de toegevoegde energie (elektrisch of gas). De steady-state prestatie van een warmtepomp wordt uitgedrukt in de term “coëfficiënt of performance” (COP) Deze is gedefinieerd als het quotiënt tussen geleverde warmte en de opgenomen energie.

$$COP = \frac{\text{Heat output (kWh)}}{\text{Energy input (kWh)}}$$

De “Seasonal Heating Factor” geeft dezelfde verhouding als de COP, maar dan over een heel jaar gerekend.

$$SPF = \frac{\text{Heat output (kWh/year)}}{\text{Energy input (kWh/year)}}$$

De SPF houdt rekening met de variabele warmtevraag en de variabele temperatuur van de warmtebron.

De prestatie van een warmtepomp wordt ook vaak uitgedrukt in de term “Primary Energy Ratio” (PER). Dit is de quotiënt tussen de geleverde warmte en de toegevoegde hoeveelheid primaire energie. Daarin is ook de energie voor pompen en ventilatoren verwerkt.

Zowel de COP als de PER hangen af van de temperatuur van de warmtebron en van de levertemperatuur. De levertemperatuur is maximaal zo'n 60°C voor elektrische warmtepompen en 70°C voor absorptie warmtepompen, aangezien het rendement bij hogere temperaturen gelijk aan (gasgestookte warmtepomp) of lager (elektrische warmtepomp) wordt dan dat van een HR-ketel [NOVEM 2000b].

De compressiewarmtepomp

Bij een compressiewarmtepomp wordt de compressor mechanisch aangedreven. Dit kan met een elektrisch aangedreven motor of met een gas aangedreven motor. Een elektrische motor doet dit met weinig energieverlies. De overall energie-efficiëntie van het systeem is afhankelijk van de wijze waarop de elektriciteit geproduceerd wordt. Bij

de gas aangedreven motor kan warmte afkomstig van de motor gebruikt worden als extra warmtebron naast de warmte van de condensor. De elektrische warmtepomp heeft vanwege het lage rendement van de elektriciteitsopwekking een rendement van minimaal 3,0 nodig om primaire energie te besparen t.o.v. een HR-ketel.

Compressiewarmtepompen zijn in alle capaciteiten te koop: van bijverwarming in een woning tot grote collectieve systemen. Voor kleine elektrische warmtepompen is de prijs-prestatie verhouding echter erg laag. Dit is het gevolg van de hoge investeringskosten, de hoge elektriciteitsprijs en het lage rendement (in primaire energie) vanwege het lage rendement van de elektriciteitsopwekking.

De absorptiewarmtepomp

De absorptiewarmtepomp wordt thermisch aangedreven. Hierbij wordt warmte i.p.v. mechanische energie gebruikt om de warmtepomp aan te drijven. Bij absorptiewarmtepompen wordt een working fluid (bijvoorbeeld ammonia) gekookt, waarbij een damp (bijvoorbeeld ammonia) ontstaat. Dit gebeurt met een gasbrander. Soms moet ook nog een pomp aangedreven worden. Dit kan zowel elektrisch als met een gasmotor.

Op dit moment zijn absorptiewarmtepompen met een vermogen vanaf circa 45 kW te koop. Dit is te groot voor één huishouden. Nefit verwacht echter eind 2001 een gas absorptiewarmtepomp te introduceren met een vermogen van circa 1,2 kW [Nefit 1996]. De COP van deze warmtepomp bedraagt in praktijktests ruim 1,4.

Omdat een absorptiewarmtepomp bijna geen bewegende delen bevat, zullen de onderhoudskosten laag en de levensduur hoog zijn. Bovendien is bij een gasgestookte warmtepomp een kleinere warmtebron nodig, omdat ook de verbrandingswarmte van het gas meegenomen wordt.

De levertemperatuur van beide warmtepompsystemen moet voor het beste rendement zo laag mogelijk zijn. Daarom is een lage temperatuur verwarmingsysteem gewenst bij gebruik van een warmtepomp. Ook geldt voor beide systemen, dat het energiegebruik van pompen en ventilatoren niet te verwaarlozen is. Dit bedraagt zo'n 5 tot 20% van het totale energiegebruik, afhankelijk van het ontwerp en de dimensionering van het systeem [NOVEM 2000b].

Het rendement van een warmtepomp neemt sterk af indien vaak opgestart en gestopt wordt. Daarom zal het vermogen vaak klein gekozen worden, zodat de installatie zoveel mogelijk continu draait. Voor piekvermogen wordt een HR-ketel met een klein vermogen bijgeschakeld.

Beide systemen zijn ook te gebruiken voor het verwarmen van tapwater. Aangezien warmtepompen niet verder verwarmen dan circa 60 °C, zal vanwege gezondheidsrisico's meestal een naverwarmingstoestel nodig zijn. Bovendien is vanwege de beperkte capaciteit van een warmtepomp een buffer nodig.

Een speciale uitvoering van de warmtepomp is de warmtepompboiler. Deze gebruikt de afgevoerde ventilatielucht van de woning als warmtebron om warm tapwater te bereiden. De warmtepompboiler wordt elektrisch aangedreven en haalt een rendement dat 15 tot 20% hoger ligt dan dat van de beste HR-ketels. Gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning is niet mogelijk bij gebruik van een warmtepompboiler, omdat de warmte uit de ventilatielucht slechts toereikend is voor één van beide toepassingen [NOVEM 2000b].

Micro-WKK

Bij warmtekrachtkoppeling wordt gelijktijdig warmte en elektriciteit opgewekt. Micro-wkk kan dit in hoeveelheden doen, die geschikt zijn voor gebruik in één huishouden. Dit heeft als voordeel dat een uitgebreid warmtedistributienet achterwege kan blijven, waardoor de aanleg kosten lager zijn en verliezen kleiner zijn dan bij grotere warmtekrachtinstallaties.

Net als mini-WKK is micro-WKK warmtevraag volgend. Dat houdt in dat de installatie de hoeveelheid warmte levert, die gevraagd wordt. Elektriciteit is min of meer een bijproduct, dat nuttig gebruikt kan worden. Hierdoor is een elektriciteitsaansluiting nog steeds nodig, om bij weinig warmtevraag zoals in de zomer elektriciteit te kunnen leveren en eventueel bij grote warmteproductie de te veel geproduceerde elektriciteit op te nemen.

Voordelen van micro-WKK zijn:

Het hoge rendement. Doordat zowel warmte als elektriciteit in één apparaat worden opgewekt, zijn de verliezen kleiner dan bij gescheiden opwekking.

Elektriciteitskabels naar nieuwe huizen en wijken kunnen lichter ontworpen worden, doordat een deel van de elektriciteit ter plaatse opgewekt wordt.

Voor WK-installaties zijn verschillende technieken beschikbaar. Op dit moment zijn de volgende vier het meest ver in ontwikkeling: de gasmotor, de stirlingmotor en brandstofcellen.

De gasmotor is de eerste techniek die gereed zal zijn om micro-wkk te introduceren. Het is een bestaande techniek, die nog duur is omdat ze nog niet in grote hoeveelheden geproduceerd wordt.

De gasmotor is een interne verbrandingsmotor, die op aardgas kan werken. Het elektrisch rendement is circa 10%, bij een totaal rendementen van circa 90%.

Naar de Stirlingmotor als techniek voor wkk wordt o.a. door de Gasunie en ECN onderzoek gedaan.

De Stirlingmotor is een externe verbrandingsmotor, die op gas gestookt wordt. Het voordeel hiervan kan zijn, dat hij makkelijk omgebouwd kan worden naar een andere brandstof zoals bijvoorbeeld waterstof. Bovendien bevat een Stirlingmotor veel minder draaiende delen dan een gasmotor, waardoor het onderhoud minder kan zijn [Vermeer 1996]. De "Stirling" wk-installatie waarmee Gasunie test doet, heeft een elektrisch rendement van 14% bij een totaal rendement van 90%. Het elektrisch en thermisch vermogen zijn respectievelijk 800 W en 6 kW [Pijkeren en Hegge 1998].

Brandstofcellen zetten waterstof en zuurstof elektrisch om in water. Hierbij wordt elektriciteit en warmte geproduceerd. De energieconversie met brandstofcellen is zeer efficiënt en geeft haast geen NO_x-emissies. Bovendien heeft het systeem geen bewegende delen, waardoor potentieel het onderhoud laag is. Omdat brandstofcellen nu nog gevoed worden met waterstof, dat in een convertor uit aardgas gevormd wordt, komt er nog wel CO₂ vrij. Als in de toekomst waterstof in plaats van aardgas geleverd kan worden, dan kan het systeem rendement nog aanzienlijk stijgen, omdat dan geen brandstofprocessor meer nodig is. Dit is natuurlijk wel afhankelijk van het rendement waarmee het waterstof gemaakt wordt.

Een ander voordeel van brandstofcellen is het hogere elektrisch rendement. Dit ligt aanzienlijk hoger dan bij gas- en Stirlingmotoren, waardoor de verhouding warmtekracht beter aansluit bij de verhouding zoals deze in de woning gevraagd wordt.

Zeker wanneer de trend van lagere warmtevraag en hogere elektriciteitsvraag zich verder doorzet.

Ook lijkt het dat de ontwikkelingen van brandstofcellen snel zullen gaan de komende jaren, doordat in de automobiellindustrie hard gewerkt wordt aan de ontwikkeling van brandstofcellen. Zo kan wkk met behulp van brandstofcellen rond 2010 een aandeel op de markt voor verwarming hebben [Holsteijn *et al* 1999].

Een geschikte kandidaat voor micro-wkk lijkt de PEM-brandstofcel. Hiermee doen Gastec en Vaillant tests. De cel werkt op lage temperaturen (60 tot 65 °C), waardoor deze snel op kan starten en belastingwisselingen goed kan volgen.

De CO₂-uitstoot is circa 40 procent lager dan gescheiden opwekking waarbij een HR-ketel gebruikt wordt. Het primaire energiegebruik ligt ongeveer een derde lager. Het elektrisch rendement ligt op 36% en het totaal rendement op 90% [Creemers en Kop 2000].

Deel II: Case 1

1 Inleiding

1.1 Kader

Energiebesparing, de benutting van duurzame energiebronnen en een zo efficiënt mogelijk gebruik van fossiele energiebronnen worden beschouwd als de belangrijkste componenten van een transitie naar een duurzame energievoorziening. Het streven naar een duurzame energievoorziening stelt hoge eisen aan het energievoorzieningsysteem. In dit onderzoek gaan we in op de vraag welk energievoorzieningsysteem voor een woonwijk optimaal is ten aanzien van energiebesparing en de benutting van duurzame energiebronnen op zowel de korte en lange termijn. Relevante ontwikkelingen liggen op het gebied van energie opwekking zowel centraal als decentraal, de toepassing van duurzame bronnen, ontwikkelingen van de energievraag, en in de regelgeving ten aanzien van nieuwbouw en renovatie.

In dit deelproject wordt op wijkniveau het complexe systeem van ontwikkelingen dat van invloed kan zijn op de keuze voor een energie-infrastructuur geanalyseerd en gekarakteriseerd. Op basis daarvan wordt een computermodel ontworpen waarmee verschillende vormen van energievoorzieningsystemen voor nieuw in te richten of te renoveren stedelijke gebieden gesimuleerd en beoordeeld kunnen worden. Daarmee wordt een in de praktijk toepasbaar en bruikbaar systeem ontwikkeld voor het ontwerpen en beoordelen van energiebesparingpotentiëlen van een energievoorzieningsysteem ten behoeve van stedelijke vernieuwings- en uitbreidingsprojecten. Het onderzoek heeft ook tot doel de doorwerking van decentrale energiebesparing en benutting van duurzame bronnen op decentraal niveau op de korte termijn naar het centrale niveau op de lange termijn in de afweging te betrekken.

1.2 Doel van het deelproject

De toepasbaarheid en de goede werking van het computermodel zullen geverifieerd moeten worden in projectgerichte casestudies. Het uitvoeren van casestudies heeft een tweeledige betekenis. In de eerste plaats is het van groot belang het model te kunnen funderen op de praktijkkennis. Daarnaast is de praktische toepasbaarheid van het computermodel essentieel. Toepasbaarheid kan alleen in praktijksituaties blijken. Er zullen daarom twee casestudies worden uitgevoerd. De eerste casestudie, waarvan in dit deel verslag wordt gedaan, staat vooral in het teken van het opdoen van ervaring. Leerervaringen uit in het verleden opgestarte projecten, die reeds geheel of gedeeltelijk zijn uitgevoerd, dienen als belangrijke informatie bij het ontwerpen en valideren van het computermodel. In de eerste casestudie wordt daarom voor een concrete woonwijk ingegaan op de verschillende aspecten die van belang zijn voor de keuze voor een energievoorzieningssysteem. Ten tweede wordt het besluitvormingsproces beschreven en geëvalueerd, zodat hierin inzicht wordt verkregen. Zo kunnen punten die tot nu toe eventueel nog gemist worden duidelijk in kaart worden gebracht. In de tweede casestudie zal vooral de toepasbaarheid van het model worden getoetst.

1.3 Identificatie van de case

Ten behoeve van de casestudie moest een goede locatiekeuze worden gemaakt. Hiertoe is een groslijst van nieuwbouwlocaties opgesteld. Dit is gerealiseerd door het overzicht 'EPL 2000 realisatie' en het overzicht 'EPL 1999' [website Novem] samen te voegen. Zo ontstond een representatieve en werkbare groslijst met een zeker ambitieniveau. Deze lijsten hebben voor een deel overlap met de lijst 'VINEX-locaties'. Vervolgens zijn de locaties op deze lijst onderworpen aan een aantal selectiecriteria:

- aantal te bouwen woningen > 500
De plannen moeten een minimale omvang hebben van 500 woningen. De mogelijkheid tot integrale aanpak van de energievoorziening moet aanwezig zijn. De beschouwing van de energievoorziening moet op wijkniveau plaats kunnen vinden.
- $EPL \geq 7,0$ en $EPC \leq 1,0$
De beoogde EPL moet groter of gelijk zijn aan 7,0. Een EPL van 6,0 is de standaard norm. Voor de EPC is dit 1,0. Binnen dit project wordt gezocht naar een case die, naar de huidige normen (2001), een hoger ambitieniveau heeft.
- geplande start van realisatie uiterlijk 1998
De geplande start van de bouw mag uiterlijk 1998 zijn. Aangezien de totstandkoming van de energie-infrastructuur in de te kiezen locatie geëvalueerd moet worden, moet deze al wel voor een deel gerealiseerd zijn. Er moet minimaal begonnen zijn met de bouw. Voor wijken met een geplande startdatum na 1998 is de kans groot dat nog niet is begonnen met de daadwerkelijke realisatie.

Na de eerste selectie bleven vier locaties over: Breda (De Kroeten), Utrecht (Leidsche Rijn), Almere (Stad) en Oegstgeest (Poelgeest). Vervolgens zijn deze locaties individueel beoordeeld op basis van een aantal meer gedetailleerde criteria (zie tabel 1). Deze criteria zullen kort worden toegelicht:

- Informatie
De beschikbaarheid van rapporten en gegevens met betrekking tot de locaties.
- Medewerking
De wijze waarop werd gereageerd op aanvraag van informatie en het toezenden daarvan.
- Realisatie
Het stadium waarin de uitvoering van het project zich bevond.
- Energievisie in bezit
Voor de verschillende locaties zijn energievisies opgesteld. Deze zijn besteld en al dan niet ontvangen.
- Omvang locatie
De omvang van de locatie moet voldoende groot zijn (>500 woningen), maar mag ook niet te groot zijn. De nieuwbouwlocatie Leidsche Rijn is te omvangrijk (> 20.000 woningen).
- Variatie in onderzochte toepassingen
Er moeten een aantal verschillende opties voor de energie-infrastructuur zijn onderzocht.

Na toetsing van de vier overgebleven locaties aan deze criteria bleek Oegstgeest de meest geschikte kandidaat voor de casestudie. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van de identificatie wordt verwezen naar bijlage A.

Tabel 1: Keuzematrix

Cases	Informatie	Medewerking	Realisatie	Energievisie in bezit	Omvang locatie	Variatie in onderzochte toepassingen	Score
Breda	+/-	-	-	-	+	+/-	-2
Utrecht	+/-	+/-	+	+	-	+/-	+1
Oegstgeest	+	+	+	+	+	+	+6
Almere	-	-	?	-	?	?	-3+?

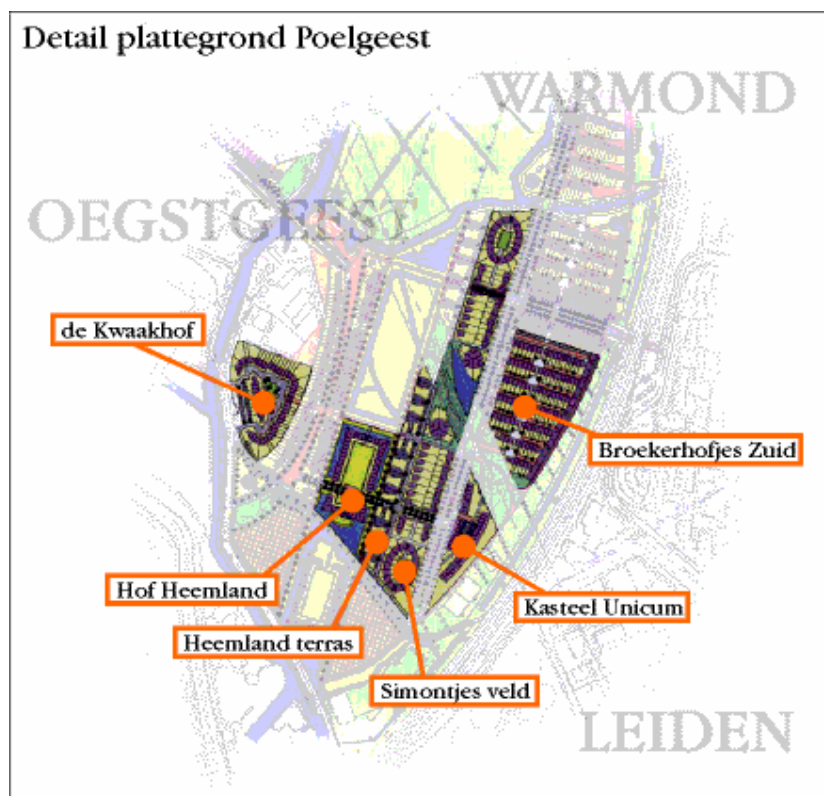
1.4 Opbouw van dit deel

Hoofdstuk 1 vormt de inleiding van dit deel. Hier wordt ook de gevolgde procedure om te komen tot de keuze voor een geschikte casestudie kort beschreven. Hoofdstuk 2 geeft een introductie van de omgeving en geschiedenis van de nieuwbouwlocatie Poelgeest. Daarnaast worden de ambities met betrekking tot de ontwikkeling van een duurzame energievoorziening behandeld. De aanpak van de vertaling van ambities op gemeentelijk niveau naar de energie-infrastructuur wordt in hoofdstuk 3 beschreven. In hoofdstuk 4 wordt een beschrijving gegeven van de verschillende factoren die meespelen in het traject voorafgaand aan de uiteindelijke keuze voor de energie-infrastructuur. Ook wordt de uitkomst van dit keuzetraject samen met een beschrijving van de stand van zaken in Poelgeest anno 2001 weergegeven in hoofdstuk 4. Ten slotte volgen in hoofdstuk 5 de samenvatting en conclusies over dit deelproject.

2 Ambities van Poelgeest

2.1 Inleiding

De nieuwbouwlocatie Poelgeest (figuur 1) ligt op het grondgebied van Oegstgeest en Leiden en is een middelgrote locatie. Het noordelijke deel, op het grondgebied van Warmond, is bestemd voor natuurontwikkeling. De randen van het gebied vormen een ruimtelijke begrenzing. In het oosten is dat de spoordijk (spoorlijn Leiden-Amsterdam) met een gemiddelde hoogte van 4 meter. De westelijk begrenzing wordt gevormd door de boezemwateren de Warmonder Leede en in het zuiden de Haarlemmertrekvaart. Het omvat de Broek- en Simontjespolder (ca. 40 ha), de Klaas Hennepoelpolder (ca. 10 ha), de Veerpolder (ca. 25 ha) en delen van de Overveerpolder, totaal ongeveer 76 ha. Het gebied lag ten tijde van het verschijnen van ‘Ontwikkelingsplan Poelgeest’ [Kuipercompagnons, 1996] buiten de bebouwde kom.



Figuur 1: Detail plattegrond Poelgeest

Halverwege de jaren negentig liep de woningbehoefte in de Leidse regio dusdanig op, dat het oog viel op deze polders. Door een grenscorrectie dreigde de Broek- en Simontjespolder aan Leiden te worden toegewezen. Oegstgeest ondernam toen de nodige juridische stappen om het gebied zelf op een milieuvriendelijke manier te ontwikkelen. Na onderhandelingen, begeleid door de provincie Zuid-Holland ontstond in 1995 een convenant tussen Oegstgeest, Leiden en Warmond [Brochure: ‘Poelgeest in vogelvlucht’].

Vijf thema's lopen als een rode draad door de ontwikkeling van dit gebied. Dit zijn duurzaamheid, minder energie, schoon water, autoluw en natuurcompensatie direct naast de deur. Aan de hand van de drie peilers: energieverbruik, mobiliteit en water is verder invulling gegeven aan het convenant [pers.meded.Van Valkenhoef].

In totaal zullen 1047 woningen in drie fases worden gerealiseerd. In eerste fase worden 600 woningen gebouwd. In tabel 2 wordt een meer gedetailleerd overzicht gegeven van de bebouwing. De gemiddelde woningdichtheid is 40 woningen per hectare. Naast deze woningen komen er ook een buurtsupermarkt, een medisch centrum, een dagbestedingsruimte voor gehandicapten, een kinderdagverblijf en een basisschool.

Tabel 2: Overzicht totale bebouwing Poelgeest

Totaal woningen	Rijtjeswoningen	Vrijstaande woningen	Meergezinswoningen	Utiliteitsbouw (m ²)
1047	585	50	412	5000

2.2 Ambitie

De ambities die lokaal opgesteld worden, worden mede bepaald door ambities, afspraken en activiteiten op hogere niveaus. In onderstaande tekst zullen de ambities op verschillende niveaus kort worden toegelicht.

Internationaal

Op internationaal niveau zijn afspraken gemaakt met betrekking tot het klimaatbeleid. De emissie van broeikasgassen moet in de periode 2008-2012 met 6% (50Mton CO₂-equivalenten) worden gereduceerd ten opzichte van 1990. Deze reductie vormt de Nederlandse bijdrage aan de verdeling over de lidstaten van de EU-verplichting die in het Kyoto protocol van het Klimaatverdrag is overeengekomen. Daarnaast moeten fundamentele worden gelegd voor de technologische en instrumentele vernieuwing, die nodig zijn wil Nederland een bijdrage kunnen blijven leveren aan het internationale klimaatbeleid in de jaren na 2012. In de loop van deze eeuw zullen de mondiale emissies van broeikasgassen waarschijnlijk ten minste moeten worden gehalveerd om het klimaatprobleem onder controle te krijgen en houden [VROM, 1999].

Nationaal

In de derde energienota wordt een weg geschetst waarlangs een energie-efficiencyverbetering van een derde in de komende 25 jaar kan worden bereikt en de wijze waarop 10% duurzame energie in 2020 kan worden gerealiseerd. Op het terrein van energiebesparing worden nieuwe initiatieven gepresenteerd of bestaande geïntensiveerd. Het energiebesparingsbeleid wordt uitgewerkt naar drie doelgroepen: de industrie, de gebouwde omgeving en verkeer en vervoer. Bij woningen en gebouwen speelt duurzaam bouwen een belangrijke rol. Nieuwe accenten komen er op het gebied van zuinige bouw, installatietechniek en infrastructuur [Van Engelen et al., 2001].

Oegstgeest

In 1995 werd duidelijk dat het gebied, dat later Poelgeest zou gaan heten, ontwikkeld zou gaan worden. Voorafgaand aan deze ontwikkeling moesten ambities worden geformuleerd. Er is destijds door de gemeente Oegstgeest besloten dat men hoog wilde scoren op de eerdergenoemde vijf thema's (duurzaamheid, energie, schoon water, autoluw en natuurcompensatie). Aangezien deze casestudie zich richt op de energie-

infrastructuur zal dit deel zich beperken tot de beschrijving van de besluitvorming rond het thema energie.

Het doel van de gemeente Oegstgeest was om het energiegebruik van de woningen te beperken en daarmee de koolstofdioxide-uitstoot met 50% te verminderen [Vrins, 2000]. Verder moest 20% van de energievoorziening duurzaam zijn. Ten tijde van de indiening van de eerste bouwaanvragen lag de wettelijke eis voor de toen net ingevoerde EPC (Energie Prestatie Coëfficiënt) op 1,4. In Poelgeest werd de eis op een gemiddelde EPC van 1,0 gelegd. In de eerste fase moest binnen elk project gemiddeld een coëfficiënt van 1,0 worden gehaald. Per individuele woning moest dit onder de 1,05 liggen [website Oegstgeest].

Om een beeld te kunnen vormen van het ambitieniveau zijn, naast het doen van literatuurstudie, gesprekken gevoerd met een aantal betrokken personen, te weten: dhr. Van Valkenhoef (projectmanager), dhr. Vrins (W/E adviseurs), dhr. Berkhout (Nuon) en dhr. Van Elsen (oud-wethouder ruimte en groen gemeente Oegstgeest). Aan de hand van deze gesprekken was het mogelijk om een beeld te vormen van het proces dat vooraf is gegaan aan de vaststelling van de ambitie. Ook kon zo een beeld worden gevormd van de aanpak die vervolgens is gehanteerd. Deze aanpak zal in het volgende hoofdstuk worden behandeld.

3 De aanpak

3.1 Algemeen

Bij het nemen van beslissingen over de energievoorziening staan de betrokken bestuurders voor twee soorten onzekerheden. De eerste onzekerheid betreft het overzicht over de integrale planaspecten: zijn alle aspecten meegewogen; is de onderlinge beïnvloeding voldoende geanalyseerd; zijn er ongewenste neveneffecten? De tweede onzekerheid betreft de inschatting van de toekomstige ontwikkelingen in de samenleving. Keuzen die nu optimaal lijken hoeven dit in toekomst niet meer te zijn [ECN, 1996].

Bij het ontwerpen en aanleggen van een nieuwe woonwijk zijn er factoren die op verschillende niveaus over een verschillende tijdsduur hun invloed uitoefenen. De grote structuurlijnen van een ontwerp leggen een situatie meestal voor enige honderden jaren vast en hebben een grote invloed, ook op de lange termijn. Naarmate er meer naar het woningniveau wordt afgedaald blijft dit gelden. Dit gaat door tot in het casco zelf. De invloed van het casco-ontwerp op de energievraag van de woning doet zich over een veel langere duur gelden dan het interieur en de installaties, die over de levensduur van een woning waarschijnlijk meermaals zullen wijzigen [ECN, 1996].

De realisatie van een hoog ambitieniveau voor de energievoorziening van een nieuwbouwlocatie vergt een goed plan van aanpak. Hoe vroeger in het planproces de gemeente haar ambities met betrekking tot duurzaam bouwen formuleert en vastlegt, hoe beter het uiteindelijke resultaat. Vroeg in het planproces staat immers niet alleen het woningontwerp nog niet vast, maar is ook nog niets besloten over verkaveling, ontsluiting en andere stedenbouwkundige aspecten die van invloed zijn op de duurzaamheid van nieuwbouwprojecten. Het vroegtijdig vastleggen van duurzaamheidsdoelstellingen en het zo vroeg mogelijk betrekken van belangrijke externe partijen bij de planvorming, zijn van wezenlijk belang. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gepresenteerd van de onderzoeken die uitgevoerd zijn ten behoeve van de keuze voor de energie-infrastructuur.

3.2 Stappenschema

De gehanteerde aanpak ter voorbereiding van de infrastructuurkeuze in Poelgeest zal aan de hand van een aantal stappen worden behandeld [website Novem]. Dit zijn de stappen waarmee een energievisie kan worden opgesteld. Op deze wijze kan een goed beeld worden gevormd van de wijze waarop inzichtelijk is gemaakt welke opties wel en niet geschikt en haalbaar waren voor deze nieuwbouwlocatie. Allereerst zullen deze stappen individueel worden toegelicht.

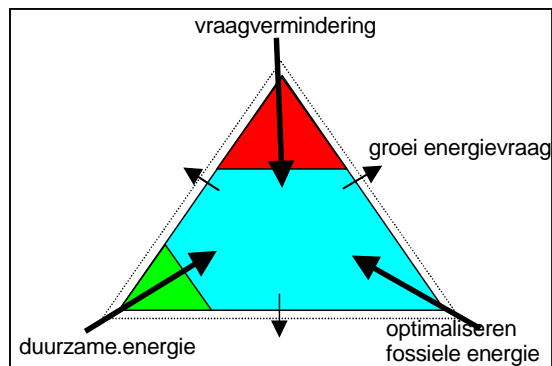
1. Inventarisatie

De ontwikkeling van een energievisie begint met het in kaart brengen van beleid dat bepalend is voor de locatie. Het gaat daarbij onder meer om het lokale energiebeleid met doelstellingen over de beperking van de CO₂-emissie, de inzet van duurzame energie of een aanscherping van de energieprestatie-eisen.

2. Selectie van opties via de Trias Energetica

Als de inventarisatie is afgerond, is de volgende stap het selecteren van opties voor de energievoorziening. De volgende volgorde kan worden gehanteerd bij het voeren van een verantwoorde energiepolitiek (Trias Energetica, zie figuur 2):

- a. Vermijden van energiegebruik. Door middel van optimale bouwkundige en bouwfysische maatregelen en een zo groot mogelijke benutting van passieve zonne-energie wordt de energievraag zo laag mogelijk gehouden.
- b. Het toepassen van duurzame energietechnologie om te voorzien in de energiebehoefte.
- c. Een efficiënt gebruik van energie uit niet duurzame energiedragers door het zo efficiënt mogelijk te produceren, te distribueren en te gebruiken.



Figuur 2: Trias Energetica

3. Kiezen van een concept, ontwikkelen van varianten

Na de selectie van haalbare opties ontwikkelen de partijen samenhangende pakketten van maatregelen voor de energievoorzieningvarianten.

4. Uitwerken van varianten

Met behulp van berekeningen zijn de effecten van iedere variant in kaart te brengen. Het door IVEM te ontwikkelen model kan in deze stap bijdragen. Met dit model kan een beeld worden gevormd van de effecten die het toepassen van verschillende vormen van energie-infrastructuur kan hebben. In hoofdstuk 5 zal hier verder op in worden gegaan.

5. Toetsing varianten

Bij de selectie van de opties worden de verschillende maatregelen getoetst aan de beleidsdoelstellingen die in de eerste stap zijn geïnventariseerd, de aanwezige speelruimte en de doelstellingen en uitgangspunten van de betrokken partijen.

3.3 Nadere uitwerking van het stappenschema voor Poelgeest

3.3.1 Inventarisatie

Het energiebeleid van Oegstgeest was ambitieus. Men wilde in de nieuwbouwwijk een CO₂ reductie van 50% t.o.v. 1990 realiseren. De referentie komt overeen met het

basiswoningtype A3 uit het EP variantenboek, uitgegeven door NOVEM. Deze woning heeft een EPC van 1,32 en een te verwarmen inhoud van 240m³. De totale inhoud van de woning is 290m³. De referentie woning voor de CO₂ berekening heeft een gemeten gasverbruik van 1500m³ en een gemeten elektriciteitsverbruik van 3000 kWh per jaar. In de periode 1990-1995 is het elektriciteitsverbruik met ongeveer 2% per jaar gestegen. Dat komt overeen met een nieuw basisverbruik van 3300 kWh voor 1996 [EWR, 1997].³ De inzet van duurzame energie moest na realisatie van de wijk 20% van de energievoorziening bedragen. Daarnaast moest een gemiddelde EPC waarde van 1,0 gehaald worden, ten tijde van dit besluit was de wettelijke eis 1,4.

3.3.2 *Selectie van opties*

In deze stap is bekeken hoe de aanpak in Poelgeest past in de Trias Energetica. Per onderdeel wordt beschreven op welke wijze deze Poelgeest is ingevuld.

a. Vermijden energieverbruik (vraagvermindering)

De energieprestatie normering kan een goed hulpmiddel zijn om het energiegebruik aan de bron te reduceren. Het was de bedoeling dat het gebouwgebonden energiegebruik voor ruimteverwarming door het aanscherpen van de eisen werd teruggedrongen tot ruim 70% van het energiegebruik met de energieprestatie-eis uit 1996. In het rapport van W/E adviseurs⁴ [Vrins, 1996] werden een aantal maatregelen om vraagreductie te realiseren, voorgesteld voor Poelgeest: zongericht ontwerpen, korte leidingslengtes voor warm tapwater en kierdicht bouwen. Natuurlijke ventilatieconcepten in combinatie met ventilatieluchttoevoer uit serres en atria waren een optie. Daarnaast diende aandacht besteed te worden aan de goede kwaliteit van de bouwschil en compact bouwen. Door stapelen en schakelen van woningen daalt het oppervlak van de bouwschil, en daarmee de energieverliezen van de woningen. Indien in de locatie het aantal gestapelde woningen en de rijlengte verdubbeld zou worden, is een besparing van 4% op het jaarlijks energiegebruik van de woningen te realiseren volgens W/E adviseurs. Naast vraagreductie biedt de wijk Poelgeest, indien gebouwd in hoge dichtheid met relatief veel gestapelde woningen, een beter draagvlak voor warmtelevering. Elektriciteitsbesparing was een extra punt van aandacht. Goede daglichttoetreding en passieve ventilatieconcepten konden daarbij helpen. Koeling van gebouwen diende vermeden te worden [Vrins, 1996].

b. Het toepassen van duurzame energietechnologie om te voorzien in de energiebehoefte.

In de nota energievoorziening Nieuw Poelgeest [Vrins, 1996] werd van een vijftal opties het aanvullende effect op de totale CO₂ reductie bepaald (EPC=0,8; 1000m² zonnepanelen; zonneboilers; 1 MW windmolen; 10% groene stroom; zes hectare bos). Van deze opties worden de zonnepanelen gerealiseerd. In de 2^e en 3^e fase worden op alle woningen zonnestroom systemen met 5 of meer panelen geïnstalleerd [Brochure: Poelgeest in vogelvlucht]. Ook de streefwaarde van de EPC wordt in deze fasen lager dan in de eerste fase, namelijk 0,8.

c. Een efficiënt gebruik van energie uit niet duurzame energiedragers door het zo efficiënt mogelijk te produceren, te distribueren en te gebruiken.

Warmtelevering, mogelijk in combinatie met warmtepompen bleek een goede optie voor deze locatie. Voor de dichtst bebouwde delen zou een warmtenet kunnen worden

³ EWR, het huidige Nuon, is verantwoordelijk voor de energievoorziening in de wijk Poelgeest

⁴ W/E adviseurs schreven de nota energievoorziening Nieuw Poelgeest [Vrins, 1996]

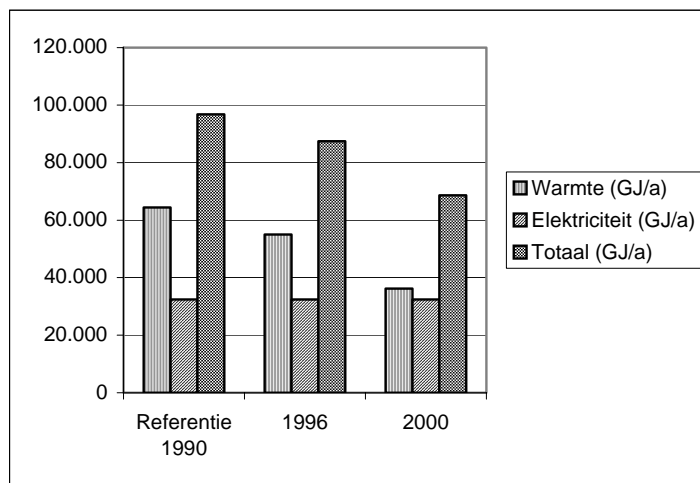
aangelegd. De rentabiliteit leek op basis van ervaringscijfers gunstig. De stadsverwarming van Leiden ligt op slechts enkele honderden meters afstand. Toepassing van een lage temperatuur systeem in de woningen laat de mogelijkheid van alternatieven als warmtepompen en inzet van duurzame energiebronnen in de toekomst open [Vrins, 1996]. Dit komt doordat de energie-infrastructuur op woning niveau ook voor bijvoorbeeld warmtepompen zeer geschikt is (grote radiatoren, vloerverwarming etc.).

3.3.3 *Kiezen van een concept, ontwikkelen van varianten*

Bij de uitwerking van de varianten voor de energievoorziening is door W/E adviseurs [Vrins, 1996] gekozen voor een algemene uitwerking van de energievoorziening voor de 1000 woningen. Daardoor was het mogelijk de potentie van alle relevante opties voor de energievoorziening in beeld te brengen. Het energiegebruik, de consequenties hiervan voor de CO₂ emissies en een indicatie van de haalbaarheid zijn in kaart gebracht. Voorafgaand aan het in kaart brengen van de verschillende opties is de primaire energievraag voor de wijk in beeld gebracht. De energiebesparing die wordt bereikt door het aanscherpen van EPC eisen wordt weergegeven in figuur 3:

- De bouwmethode in 1990
- De energieprestatie eisen van 1996

De in 1996 door VROM beoogde aanscherping van de energieprestatie eisen voor het jaar 2000



Figuur 3: Warmtevraag Poelgeest [vrij naar Vrins, 1996]

De hoofdvarianten in het rapport van W/E adviseurs werden als volgt geformuleerd:

1. Levering van gas en elektriciteit aan alle woningen. In de woningen wordt individueel warmte opgewekt met Hr-ketels.
2. Levering van warmte en elektriciteit aan alle woningen. De warmte wordt opgewekt met warmte/krachtinstallaties en aangevuld met Hr-hulpketels. De brandstof is aardgas. De warmte/krachtinstallaties leveren 70% van de warmtebehoefte, de hulpketels de aanvullende 30%.

3. Levering van warmte en elektriciteit aan 75% van alle woningen en alleen elektriciteit aan 25% van de woningen. Aan de woningen met warmtelevering wordt warmte geleverd vanuit een warmte/krachteenheid zoals in variant 2. Bij productie van warmte en elektriciteit ontstaat er in de wijk een overschot aan elektriciteit. Die elektriciteit wordt gebruikt voor het aandrijven van de warmtepompen in de 'all electric' delen van de wijk.
4. Als 2, maar dan met individuele elektrische warmtepompen in plaats van warmte/krachtinstallaties.

Berekend is dat de CO₂ emissie wordt gereduceerd tot 52% indien variant 2 zou worden toegepast. Aangevuld met bijvoorbeeld de zonneboiler daalde de CO₂ emissie tot onder de 50% van het referentieniveau (normering van 1990). Er zou dus behoorlijk wat nodig zijn om deze reductie te behalen. Met betrekking tot een eventuele aansluiting op een warmtenet moest de technische en financiële haalbaarheid worden onderzocht in een haalbaarheidsstudie. De combinatie met warmtepompen in delen van de locatie leek een goede optie. Daardoor blijven de energievraag en energieproductie in evenwicht. De minder efficiënte delen van de locatie zouden kunnen worden gemedend met de kostbare infrastructuur voor warmtelevering.

Het is niet te achterhalen of de notitie van W/E adviseurs [Vrins, 1997] gebruikt is bij het opstellen van het EWR rapport (1997). Deze heeft ieder geval geen doorslaggevende rol gespeeld bij de keuze voor de energie-infrastructuur [pers.meded. Berkhout].⁵ Er is wel gebruik gemaakt van het rapport van Haskoning [1996]⁶ dat in opdracht van EWR is opgesteld, onder andere voor de haalbaarheidsberekeningen.

3.3.4 *Uitwerken varianten*

In het EWR rapport 'Energie voor Poelgeest' [1997] zijn varianten voor de energievoorziening uitgewerkt. In [Vrins, 1996] werd mogelijkheid voor aansluiting op de stadsverwarming in Leiden al genoemd. Deze optie wordt in EWR [1997] ook nader uitgewerkt.

In het rapport van EWR worden, naast de referentiewoning uit 1990, negen varianten opgebouwd uit de volgende onderdelen beschreven:

- Stadsverwarming met laag temperatuur systeem
- Zonne-gas-combi boiler met warmteterugwinning
- Mini WKK
- Hr-ketel met warmtepompboiler
- Zonne-gas-combi boiler
- Hr-ketel met zonneboiler
- Hr-ketel met warmteterugwinning
- Hr-ketel

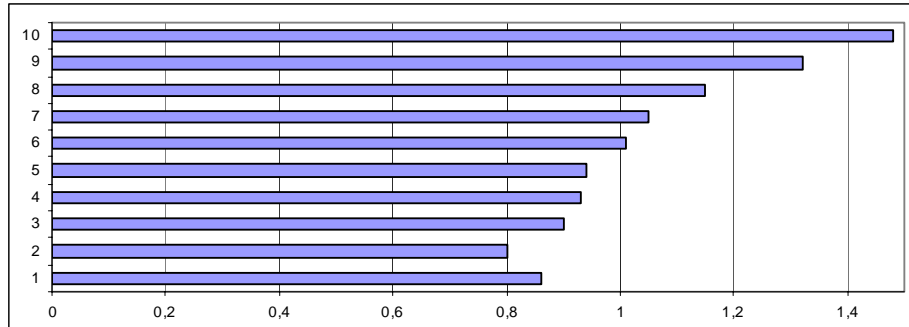
⁵ Dhr. Berkhout is werkzaam bij Nuon (destijds EWR)

⁶ In Haskoning (1996) wordt een kostenvergelijking van zeven verschillende stadsverwarmingsopties gemaakt

Alle opties zijn inclusief extra isolatiemaatregelen en aansluiting op het elektriciteitsnet. Tevens wordt bij alle opties mechanische ventilatie toegepast, behalve bij de opties met warmteterugwinning [EWR, 1997]. Voor de verschillende opties kunnen de effecten op de EPC en CO₂ uitstoot worden berekend. In volgende paragrafen worden de resultaten van deze berekeningen weergegeven.

Energieprestatie coëfficiënt

Verschillende energieverbruikfuncties zoals verlichting, ventilatie en hulpenergie in een woning leveren een bijdrage aan de hoogte van de energieprestatie coëfficiënt (EPC).



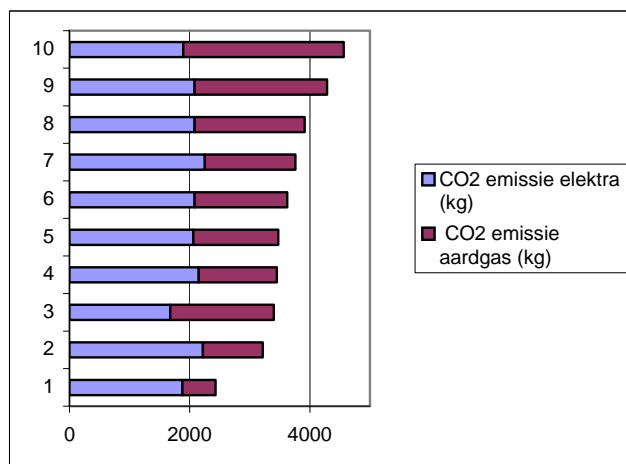
Figuur 4: Energieprestatie coëfficiënt

De in figuur 4 getoonde energievoorzieningsopties worden als volgt beschreven:

10. Referentiewoning 1990
9. EPC 1,32; basiswoning, Hr combiketel en standaard isolatie
8. EPC 1,15; Hr combiketel en extra isolatie
7. EPC 1,05; Hr combiketel, extra isolatie en warmteterugwinning
6. EPC 1,01; Hr combiketel, extra isolatie en een zonneboiler voor warm tapwater
5. EPC 0,94; zonne-gas-combi boiler voor CV en warm tapwater en extra isolatie
4. EPC 0,93; Hr combiketel, extra isolatie en warmtepompboiler
3. EPC 0,90; mini WKK in combinatie met een Hr-ketel en een warmtebuffer voor zowel CV als warm tapwater en extra isolatie. Er is uitgegaan van een installatie voor een cluster van 10 woningen
2. EPC 0,80; zonne-gas-combi boiler voor CV en warm tapwater, extra isolatie en warmteterugwinning
1. EPC 0,86; stadsverwarming ten behoeve van verwarming en warm water en extra isolatie

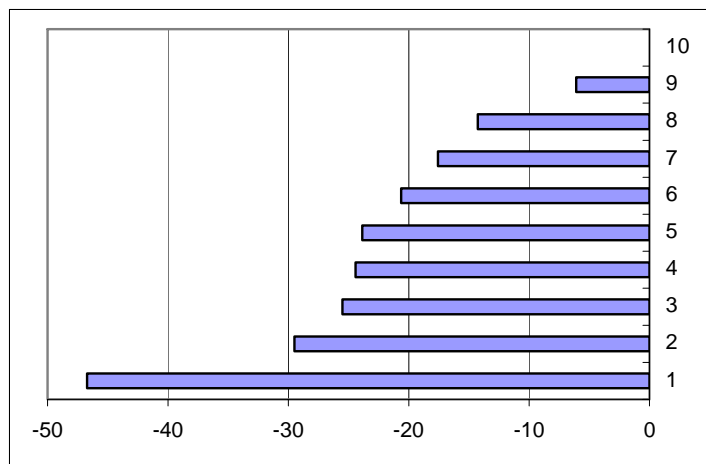
CO₂

In figuur 5 is de totale CO₂ emissie, onderverdeeld naar herkomst, voor de energievoorziening per woning weergegeven.



Figuur 5: CO₂ emissie

Een CO₂ reductie van 50% blijkt niet haalbaar zonder aanvullende maatregelen (zie figuur 6).



Figuur 6: CO₂ reductie t.o.v. 1990

In 1996 is in opdracht van EWR een rapport geschreven door Haskoning waarin zeven verschillende opties voor stadsverwarming met elkaar worden vergeleken (zie tabel 3). Dit rapport is door EWR gebruikt bij het schrijven van het rapport 'energie voor Poelgeest' [EWR, 1997].

Tabel 3: Varianten stadsverwarming

Optie	Ontwerp temperatuur	Materiaal	Primaire net
I.	55/40	St-PUR-PE	Retour
II.		Kunststof	Retour
III.	70/40	Kunststof	Retour
IV.		Kunststof	Aanvoer
V.	90/70	St-PUR-PE	Aanvoer
VI.	55/40	Kunststof	Warmtepomp
VII.	70/40	Kunststof	Gasmotor

Uit dit rapport bleek dat van de opties die aansluiten op de stadsverwarming van Leiden het 70/40 laag temperatuur warmtenet, gevoed vanuit de primaire aanvoerleiding (optie IV) de laagste investeringen vroeg. De beide opties met lokaal thermisch vermogen hadden nog lagere investeringen. Bij deze laatste twee opties dienden echter de hogere jaarlijkse kosten voor energie (elektriciteit en aardgas) geëvalueerd te worden. Dit werd in de studie van Haskoning [1996] niet meegenomen.

3.3.5 Toetsing varianten

Hier moeten de onderzoeksresultaten uit de vorige paragraaf getoetst worden aan de ambities die door de gemeente Oegstgeest zijn gesteld ten aanzien van de energievoorziening.

Energieprestatie coëfficiënt

Wanneer aan de gewenste EPC van 1,05 voor individuele woningen moest worden voldaan bleven zeven van de negen varianten uit het EWR rapport [EWR, 1997] over, alleen de varianten 8 (EPC 1,15: combiketel en extra isolatie) en 9 (EPC 1,32: basiswoning) vielen af.

Uit het rapport van EWR kwam naar voren dat de optie Hr-ketel met extra isolatie en zonneboiler (optie 6), met geringe aanpassing van bijvoorbeeld de isolatiewaarde, aan de gestelde EPC prestaties kon voldoen. Deze optie kon derhalve een positieve bijdrage leveren aan de gestelde milieudoelen en diende bij vergelijkbare projecten mede beschouwd te worden. Bij Poelgeest is deze optie door de te geringe prestaties niet verder onderzocht [EWR, 1997].

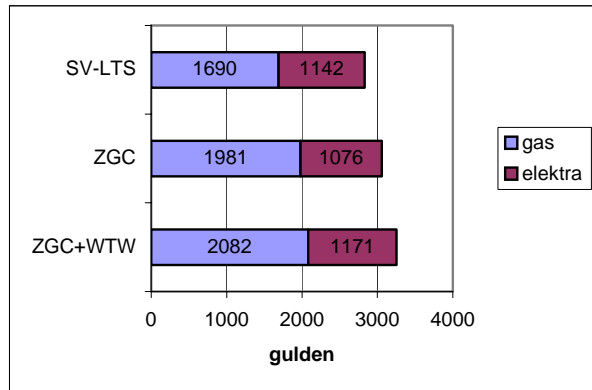
CO₂

Ten aanzien van de CO₂ emissie kon uit het EWR onderzoek [1997] het volgende geconcludeerd worden:

- Voor de uitstoot van CO₂ voor het deel van elektriciteit gold dat, van alle onderzochte energieopties, deze het laagst was bij mini WKK. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat mini WKK zelf elektriciteit opwekt.
- Ten aanzien van de CO₂ uitstoot voor de warmtevraag gold dat, van alle energieopties, deze het laagst was voor de optie stadsverwarming met extra isolatie. Bij de berekening is uitgegaan van het gegeven dat in de warmtebehoefte voor 65 procent wordt voorzien van stadsverwarming. De overige 35 procent wordt geleverd door hulpketels (gas).
- Op warmteterugwinning wordt gas bespaard. De CO₂ emissie levert per saldo echter weinig op, omdat extra elektriciteit wordt verbruikt.
- De optie mini WKK en de optie Hr-ketel met extra isolatie en warmtepompboiler scoorde goed.
- De beoogde 50 procent CO₂ reductie bleek niet haalbaar op woningniveau zonder aanvullende maatregelen. Op wijkniveau kon energiezuinige openbare verlichting een positieve bijdrage leveren.

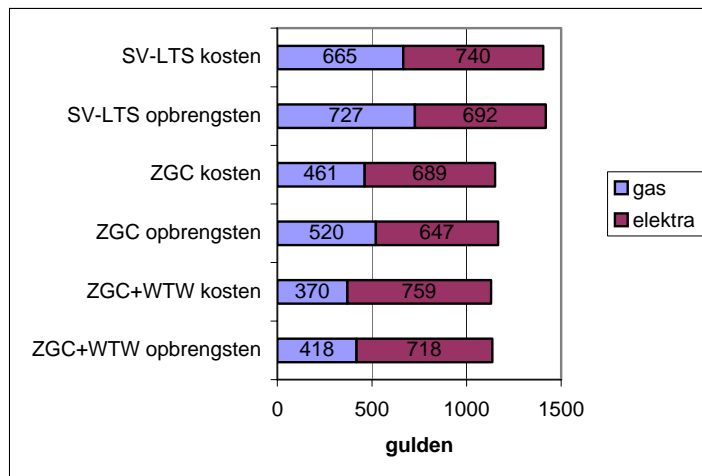
Om CO₂ reductie te realiseren bleek de inzet van nieuwe technologieën noodzakelijk. Stadsverwarming kon in dat geval een middel zijn. De aanleg vereiste grotere investeringen dan die voor de traditionele energievoorziening nodig waren. De rentabiliteit was onder meer afhankelijk van de prijsontwikkelingen en de energieafzet.

Op basis van de gestelde uitgangspunten is besloten om voor de volgende opties de economische consequenties voor de klant en de leverancier (EWR) te onderzoeken: stadsverwarming, zonne-gas-combi boiler en zonne-gas-combi boiler met warmteterugwinning.

Kosten en opbrengsten**Figuur 7:** Jaarlijkse kosten voor de klant

Voor de drie opties stadsverwarming met lage temperatuur systeem (SV-LTS), zonne-gas-combi boiler (ZGC) en zonne-gas-combi boiler met warmteterugwinning (ZGC + WTW) zijn de jaarlijkse kosten voor de klant berekend (figuur 7).

In figuur 8 wordt een overzicht gegeven van de kosten en opbrengsten voor de leverancier. Voor de optie stadsverwarming zijn de jaarlijkse kosten voor EWR het hoogst. Dat komt doordat het aanleggen van een stadsverwarmingnet een kostbare investering is. Bij de optie zonne-gas-combi boiler met warmteterugwinning zijn de kosten het laagst. Dat komt door het lage gasverbruik. Deze lage kosten worden echter voor deel verhoogd door extra kosten van elektriciteit die nodig zijn voor de warmteterugwinning.

**Figuur 8:** Jaarlijkse kosten en opbrengsten voor EWR

Bij het berekenen van de kosten en opbrengsten voor EWR bleken de volgende zaken:

- Elektriciteit is niet kostendekkend. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door het feit dat de productiecosten met name in de laagtarief uren hoger zijn dan de productieopbrengsten. Bij de berekening is uitgegaan van 100 procent toepassing van dubbeltariefmeters. In de flats kunnen echter wel enkeltariefmeters worden gebruikt.
- Gas is kostendekkend. Hoe meer gas verbruikt wordt, des te hoger is de opbrengst.

- Stadsverwarming met lage temperatuur systeem is kostendekkend.
- Zonne-gas-combi boiler met warmteterugwinning zorgt voor een laag gasverbruik en een hoog elektriciteitsverbruik. De winst van gas wordt derhalve voor een groot deel door elektriciteit opgeslokt.
- Bij de optie stadsverwarming met elektriciteit wordt het resultaat van stadsverwarming bijna volledig tenietgedaan.
- De optie zonne-gas-combi boiler met elektriciteit is per saldo het meest winstgevend.

Het gebouwgebonden energiegebruik voor ruimteverwarming wordt door het aanscherpen van de eisen in 2000 teruggedrongen tot ruim 70 procent van het energiegebruik met de EPN uit 1996. Via convenanten met bouwopdrachtgevers en voorlichting vanuit de gemeente kan de bereidheid tot verdere energievraagreductie worden afgesproken.

In EWR [1997] werden een aantal mogelijkheden geschetst voor de invulling van de energie-infrastructuur. Hierin is ook een situatie opgenomen waar een groot deel van het gebied werd aangesloten op stadsverwarming. Het gebied van woonwagens en woonboten werd daar conventioneel aangesloten op het gas en elektriciteitsnet. Daarnaast is er een gebied gereserveerd voor andere toepassingen voor de energievoorziening, zoals zonneboilers, zonne-gas-combi boilers met of zonder warmteterugwinning, Hr-ketel met warmtepompboiler, mini-WKK of mini-WKK met warmteterugwinning.

4 Het keuzeproces

Begin 1996 hebben drie workshops met betrekking tot de energievoorziening van Poelgeest plaatsgevonden. Voorafgaand aan deze workshops waren binnen de gemeente Oegstgeest al een aantal ambities gedefinieerd (zie hoofdstuk 2). Het doel van deze workshops was tweeledig.

Ten eerste zijn de workshops gebruikt om deze ambities over te brengen aan de verschillende betrokken partijen. Er moest een draagvlak worden gecreëerd voor de ideeën van de gemeente. De ontwikkelaars moesten hiervoor enthousiast worden gemaakt. Bij een dergelijk project moeten alle betrokkenen achter de plannen staan. Als enkele actoren dwars gaan liggen bestaat het risico dat het energieplan in de kast verdwijnt met als gevolg dat een standaard inrichting van de energie-infrastructuur wordt gekozen (gas en elektriciteit). Het afdwingen van bepaalde beslissingen was geen optie. Het moest de ontwikkelaars duidelijk worden gemaakt dat het ook voor hen belangrijk was om de lat hoog te leggen bij dit project. Op deze manier zouden zij ervaring krijgen met duurzaam bouwen. Daarnaast werkt dit ook voor de ontwikkelaars imago versterkend.

Ten tweede moest de vraag worden beantwoord op welke wijze de gekozen ambities konden worden gerealiseerd. De effecten van verschillende energieopties waren uit de praktijk wel bekend. Het overtuigen van de partijen met cijfers en berekeningen had niet veel zin. De verschillende partijen moesten het gevoel krijgen dat het belangrijk was waar ze mee bezig waren.

Zoals in hoofdstuk 2 is beschreven wordt de wijk aan de hand van drie peilers ingericht, te weten mobiliteit, water en energie. Bij de workshops waren bureaus aanwezig met expertise op deze gebieden. De onderzoeksbureaus werden uitgedaagd om creatieve oplossingen te bedenken voor het halen van de gestelde doelen. De bureaus Grontmij, Arcadis en W/E adviseurs kregen huiswerk mee voor respectievelijk het autoluw maken van de wijk, de waterhuishouding en de energie-infrastructuur.

Voor de energie-infrastructuur resulteerde dit in het rapport 'Nota energievoorziening Nieuw Poelgeest' [Vrins, 1996]. Hierin werden de vier hoofdvarianten voor de energielevering besproken om de ambities te kunnen realiseren (zie hoofdstuk 3). Daarnaast werd voorgesteld om eens te kijken naar de mogelijkheden voor het aansluiten op het stadsverwarmingnet van de Merenwijk. Dit rapport zou onder andere worden gebruikt voor het opstellen van het ontwikkelingsplan Poelgeest [Kuiper Compagnons, 1996].

In mei 1996 stelden de gemeenteraden van Oegstgeest en Leiden de structuurschets voor de Broek- en Simontjespolder vast. Na die vaststelling heeft de projectorganisatie gewerkt aan het ontwikkelingsplan. Door een aantal verschillende oorzaken was er meer tijd nodig voor het opstellen van het ontwikkelingsplan. Het doen van de deelonderzoeken (mobiliteit, water, energie) ten behoeve van het ontwikkelingsplan vergde tijd. Verder is door het Hoogheemraadschap van Rijnland onderzocht wat de mogelijkheden waren om de geurcontour van de AWZI Leiden-Noord zodanig terug te leggen dat alle geprojecteerde woningen en standplaatsen erbuiten zouden vallen. Ook moest de hoofdroute van het autoverkeer worden verplaatst in verband met

hoogspanningsleidingen, het verplaatsen van deze leidingen bleek een zeer kostbare zaak.

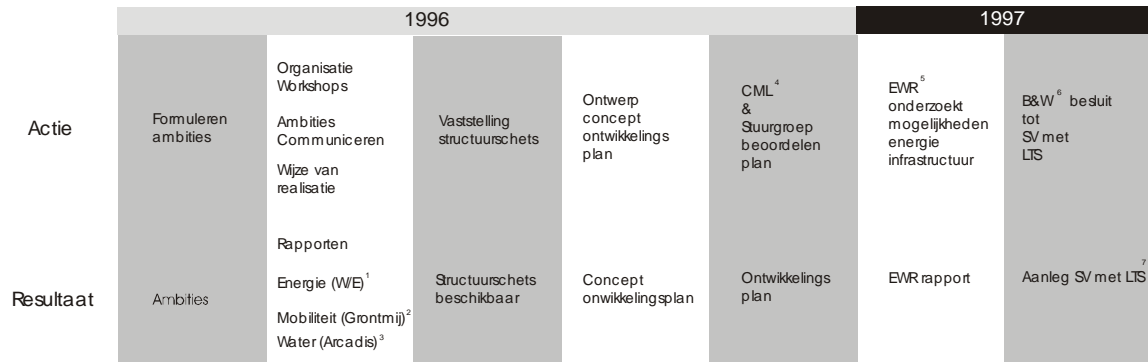
Na de zomer van 1996 werd het ontwikkelingsplan aan de stuurgroep voorgelegd en goedgekeurd. Vervolgens is het naar de colleges van B&W van Leiden, Oegstgeest en Warmond gegaan, die ook instemden met het plan. Daarna is het beschikbaar gesteld voor inspraak. Bij de start van de inspraak is ook gestart met het opstellen van een stappenplan, waarin energie, mobiliteit en water worden verwerkt. De drie thema's moesten worden gebundeld ten einde een duidelijk verhaal te kunnen presenteren aan de stuurgroep. Uiteindelijk is het bij de betrokken gemeenteraden ter vaststelling terechtgekomen.

Het bureau Kuiper Compagnons had een aantal mogelijke stedenbouwkundige invullingen van het plangebied gegeven, waarbij ook naar duurzaamheid en naar de milieucompensatie is gekeken. Het concept ontwikkelingsplan is door het Centrum voor Milieukunde van de Rijksuniversiteit Leiden (CML) beoordeeld ten aanzien van de milieucompensatie [Canters, 1996]. Omdat bleek dat een deel van de woningen binnen de geurcontour van de afvalwaterzuiveringinstallatie Leiden-Noord zou vallen, is tevens onderzocht welke maatregelen getroffen moeten worden om alle woningen buiten die zone te laten vallen. Dit heeft geleid tot het ontwikkelingsplan, zoals dat in oktober 1996 [Kuipercompagnons] verschenen is.

Het ontwikkelingsplan is een tussenfase in de totale ontwikkeling van de nieuwe wijk. Op het schaalniveau van het ontwikkelingsplan konden nog niet alle voorgestelde en gewenste maatregelen volledig worden opgenomen en uitgewerkt. Daarnaast was er sprake van een aantal tegenstrijdigheden tussen verschillende ambities, zodat compromissen noodzakelijk waren. Een voorbeeld van dit laatste is de zuid oriëntatie van woningen: 80% was gewenst, maar binnen de stedenbouwkundige randvoorwaarden was dit niet volledig waar te maken. Met name door de uitwerking van de ambitie milieucompensatie in de Heempolder was de noordzuid oriëntatie beperkt tot 60%. De stuurgroep verwachtte dat, door aanpassingen bij de uitwerking van de deelplannen en/of aanvullende maatregelen, de EPN-ambities zouden worden gehaald.

Het voorstel van W/E adviseurs om de mogelijkheden voor een stadsverwarming met lage temperatuur systeem te bekijken is uitgewerkt door EWR. In opdracht van EWR heeft Haskoning [1996] zeven varianten voor stadsverwarming beschreven. In februari 1997 verscheen het rapport 'Energie voor Poelgeest' [EWR]. Hierin stond naast een aantal andere opties voor de energievoorziening een beschrijving van de energievoorziening met behulp van stadsverwarming.

In maart 1997 heeft het college van B&W Oegstgeest besloten tot stadsverwarming met lage temperatuursysteem. In het voorbeeldproject moet men onder de EPN-norm van 1,05 komen, omdat het gemiddelde van de wijk (1,0) gehaald dient te worden. Uit een gesprek dat tussen Vrins (W/E adviseurs) en EWR met betrekking hierop blijkt dat de haalbaarheid positief te noemen is. Dit komt mede doordat in de nabij gelegen Merenwijk al een stadsverwarmingnet ligt, waarop aangesloten kan worden.



1 W/E: W/E adviseurs duurzaam bouwen
2 Grontmij: onderzoeksbureau
3 Arcadis: advies- & ingenieursbureau
4 CML: Centrum voor milieukunde Leiden

5 EWR: BV Energie en watervoorziening Rijnland, het huidige NUON
6 B&W: college van burgemeester & wethouders
7 SV met LIS: stadsverwarming met lage temperatuursysteem

Figuur 9: Chronologisch overzicht van het keuzeprocess

Stand van zaken anno 2001

Het stadsverwarmingssysteem is inmiddels aangelegd met een laag temperatuursysteem, kunststof leidingen en aansluiting op de primaire aanvoer van de Merenwijk (optie IV zie hoofdstuk 3). Op het moment van schrijven zijn 364 van de 1047 woningen gerealiseerd, waarvan er 97 in de opleverfase zijn. Alle woningen worden verwarmd door 70 graden stadsverwarming. Er is geen gasnet aangelegd. De tweede fase van de bouw is nog niet gestart. Deze is in 2002 gepland. De woningen in de tweede en derde fase zullen worden uitgerust met zonnepanelen. Op dit moment zijn er alleen enkele particuliere projecten met zonnepanelen uitgevoerd. De streefwaarde voor de EPC zal dan ook lager liggen, namelijk op 0,8. Zonnepanelen leveren geen energiebesparing op, maar bij de productie van elektriciteit wordt geen CO₂ geproduceerd. Zonnepanelen kosten ongeveer fl.2000,- per m² extra. Om de geurcontour van de AWZI Leiden-Noord te beperken heeft gemeente Oegstgeest de denitrificatietanks laten afdichten.

Voor het realiseren van de ambities zijn een aantal zaken belangrijk geweest: de zongerichte verkaveling; aansluiting op stadsverwarming in Leiden en een EPC van 1,0. Om een gemiddelde EPC van 1,0 te halen zijn extra aanpassingen gedaan, waarvoor de EPC gecorrigeerd mag worden. Er zijn waterbesparende maatregelen getroffen op warmwaterkranen en douchekoppen. Hiermee kan een besparing van ongeveer 15% worden behaald op het warmwatergebruik van de kraan. Per woning kost dit fl.40,- extra. De energiebesparing door dit verminderde warmwatergebruik kan verrekend worden met de EPC.

In alle woningen wordt stadsverwarming met een laag temperatuursysteem toegepast voor de verwarming en warm tapwatervoorziening Dit betekent dat het water dat door de radiator stroomt 70°C is in plaats van de gebruikelijke 90°C. Hierdoor worden onder andere de leidingverliezen verminderd. De extra kosten bedragen ongeveer fl.100,- per kW benodigd verwarmingsvermogen. Hiervoor mag op de berekende EPC een vermindering van 0,05 worden aangebracht. In de woningen worden hotfill aansluiting geïnstalleerd. Dit zijn speciale warmwater aansluitingen voor de was- en afwasmachine. Het elektrisch verwarmen van het water van deze machines kan achterwege blijven. Dat heeft een gunstig effect op het energieverbruik. Deze aansluitingen kosten ongeveer fl.200,- extra. Hiervoor mag 0,02 op de EPC worden gecorrigeerd [website Oegstgeest].

5 Samenvatting en Conclusies

5.1 Waarom deze deelstudie?

Het streven naar een duurzame energievoorziening op decentraal niveau stelt hoge eisen aan het energievoorzieningsstelsel. Bij de ontwikkeling van nieuwbouwprojecten of stadsvernieuwing staat daarbij de vraag centraal welk energievoorzieningsstelsel optimaal is ten aanzien van energiebesparing en de benutting van duurzame energiebronnen op zowel de korte als lange termijn.

In het lopende onderzoek 'Perspectief op een optimale duurzame energie-infrastructuur op een decentraal niveau', waar deze deelstudie deel van uitmaakt wordt een computermodel ontwikkeld waarmee verschillende vormen van inrichting van energievoorzieningsstelsels voor nieuwbouwwijken en/of renovatieprojecten gesimuleerd en beoordeeld kunnen worden. Het model dient partijen betrokken bij het complexe keuzeproses voor een energievoorzieningsstelsel te ondersteunen. Deze ambities stellen hoge eisen aan het model: naast een inventarisatie en beschrijving van energiesystemen, isolatiepakketten en woningkarakteristieken dienen locatiespecifieke aspecten een belangrijke rol te krijgen in het model. Immers de keuze voor een energievoorzieningsstelsel kan niet zonder specifieke kennis van de locatie worden gemaakt. Ten behoeve van de ontwikkeling van dit model is een praktijkcase geanalyseerd en geëvalueerd. Uitwerking van de case diende inzicht te geven in de procesgang welke heeft geleid tot de keuze voor een energievoorzieningsstelsel. In deze deelstudie is de case Poelgeest uitgewerkt. Er is een beeld geschetst over de wijze waarop het ambitieniveau is vastgesteld en vertaald naar keuzes voor de energie-infrastructuur.

5.2 Het ambitieniveau in Poelgeest.

De gemeente Poelgeest heeft zich ten doel gesteld om het energiegebruik van de woningen in de wijk Poelgeest te beperken en daarmee de koolstofdioxide-uitstoot met 50% te verminderen. Verder moest 20% van de energievoorziening duurzaam zijn. Ten tijde van de indiening van de eerste bouwaanvragen lag de wettelijke eis voor de toen net ingevoerde EPC (Energie Prestatie Coëfficiënt) op 1,4. In Poelgeest werd de eis op een gemiddelde EPC van 1,0 gelegd. In de eerste fase moest binnen elk project gemiddeld een coëfficiënt van 1,0 worden gehaald. Per individuele woning moest dit onder de 1,05 liggen.

5.3 Naar realisatie van de ambities: het proces en de partijen

De realisatie van de ambities kan op verschillende wijzen tot stand worden gebracht. In Oegstgeest is er niet voor gekozen om de betrokken partijen door verplichting aan bepaalde eisen te laten voldoen. In Oegstgeest zijn de verschillende partijen via communicatie op één lijn gebracht en enthousiast gemaakt voor de te realiseren ambities. Dit is gebeurd met behulp van drie workshops begin 1996. De aanpak is sterk gestuurd door de projectleider. Uit verschillende gesprekken blijkt dat de projectleider de verschillende betrokkenen voortdurend op hun toezeggingen heeft aangesproken en zodoende iedereen bij de les heeft gehouden. Er is vanaf het begin af aan een draagvlak gecreëerd voor de hoge ambities. Naast de wensen op gebied van CO₂, EPC en inzet van duurzame energie werd toen ook al gesproken over eventuele aanleg van

stadsverwarming. Verschillende partijen (ontwikkelaars, energiebedrijf etc.) hebben hun medewerking toegezegd en zijn hieraan gehouden.

Na de workshops is een aantal hoofdvarianten globaal uitgewerkt. In Vrins [1996] werden een aantal hoofdvarianten gepresenteerd. Ook stadsverwarming werd hier al genoemd. De warmte werd in deze variant opgewekt met warmte/krachtinstallaties en aangevuld met Hr-ketels met aardgas als brandstof. Hier werd voorgesteld om in dit kader de mogelijkheid tot aansluiting op het systeem in de Merenwijk te onderzoeken. In EWR [1997] werd dit verder uitgewerkt.

5.4 Karakteristieken van het systeem

Uiteindelijk is gekozen voor stadsverwarming met een lage temperatuursysteem dat aangesloten werd op de stadsverwarming van de Merenwijk te Leiden. Met betrekking tot de flexibiliteit van stadsverwarming ten aanzien van veranderingen in de warmtevraag het volgende. Woningen mogen niet eindeloos worden geïsoleerd zodat de warmtevraag daalt. Om de EPC in de toekomst te kunnen verlagen worden slimme opties onderzocht die de stadsverwarming niet aantasten. Er moet voldoende warmtevraag blijven om de stadsverwarming rendabel te kunnen laten functioneren. De vraag naar energie kan van elektriciteit verschoven worden naar warmteverbruik. Dit kan worden gerealiseerd door hotfill aansluitingen te plaatsen in de woningen, zodat apparatuur die warm water gebruiken ingezet kan worden. In de EPC wordt hier ook voor beloofd met een verlaging van 0,02.

Bij de keuze voor stadsverwarming als energievoorziening zijn bepaalde zaken vastgelegd voor de komende jaren. Hoe flexibel is een stadsverwarmingssysteem? Bijvoorbeeld wanneer in de toekomst het aanbod van energiedragers zou veranderen. Op dit moment wordt restwarmte van de STEG in Leiden gebruikt voor de warmtevoorziening. Stadsverwarming kan echter door verschillende energiebronnen voorzien worden van warm water. Er kan bijvoorbeeld biomassa gebruikt worden om water te verwarmen. Ook zouden hiervoor in de toekomst warmtepompen of warmte/krachtinstallaties gebruikt kunnen worden. Op deze wijze wordt echter de doelstelling om een CO₂ reductie van 50% te realiseren niet gehaald.

De stadsverwarming voor Poelgeest is gedimensioneerd op ongeveer 1000 woningen. Het is afgesteld op het aantal geplande woningen (1047). Wanneer er in de toekomst nog meer woningen op de stadsverwarming moeten worden aangesloten kan dit waarschijnlijk wel, maar voordat dat bevestigd kan worden zouden hiervoor berekeningen moeten worden gemaakt.

Hoewel er eerst sprake was van aansluiting op de retourleiding van de Merenwijk is er uiteindelijk aangesloten op de primaire leiding. Het water in deze leiding heeft een temperatuur die hoger is dan 70°C. Bij de woningen zijn extra warmtewisselaars geplaatst.

Er is geen gasnet aangelegd. Technieken waarvoor een aansluiting op het gasnet nodig is zullen in de toekomst hier niet kunnen worden toegepast. De bedrijfszekerheid van de stadsverwarming wordt gegarandeerd door hulpketels die in de Merenwijk staan opgesteld die wel op het gasnet zijn aangesloten.

5.5 Locatiespecifieke invloeden

Locatiespecifieke aspecten zijn een belangrijke factor bij de keuze voor de energie-infrastructuur. De aanwezigheid van een stadsverwarmingnet in de Merenwijk heeft er aan bijgedragen dat stadsverwarming als belangrijke optie werd meegenomen in het keuzeproces. Andersom heeft de keuze voor stadsverwarming ook uitwerking op de ruimtelijke ordening van het gebied. Om goed te kunnen functioneren moet stadsverwarming geplaatst worden in een redelijk dichtbebouwde omgeving. In Poelgeest resulteert dit in een dichtheid van 40 woningen per hectare. Het is technisch moeilijk en energetisch onvoordelig om warmteleidingen onder een water door te laten lopen. Dit heeft tot gevolg dat de woningen die aan de andere zijde van de Haarlemmertrekvaart worden gebouwd conventioneel op het gas- en elektriciteitsnet worden aangesloten. Hier zouden andere alternatieve wijzen voor energievoorziening kunnen worden toegepast. Hier zijn echter nog geen plannen voor uitgewerkt.

Wat had het te ontwikkelen model aan de keuzeproces voor de ontwikkeling van Poelgeest kunnen toevoegen?

Tijdens het keuzeproces zijn twee momenten geweest waar een keuze gemaakt is voor de te volgen richting met betrekking tot de energievoorziening van Poelgeest. Begin 1996 is door W/E adviseurs [Vrins, 1996] een viertal hoofdvarianten beschreven. Begin 1997 is door EWR en rapport gepubliceerd waarin verschillende mogelijkheden voor de energie-infrastructuur worden beschreven. In de variant ontwikkeling werd met referentiewoningen van Novem gerekend. Het model zal de nauwkeurigheid van een volledig onderzoek, zoals door EWR gedaan is, niet halen. De data kunnen hiervoor niet op voldoende detailniveau worden ingevoerd. Daar is het model ook niet voor bedoeld. Het model is bedoeld om vroeg in het keuzeproces een gefundeerde keuze te kunnen maken tussen verschillende opties voor de energievoorziening. Hierbij kan gedacht worden aan de voorbereiding van de workshops begin 1996. Een aantal verschillende opties had al globaal doorgerekend kunnen worden. Hierdoor waren misschien andere mogelijkheden voor verwarming niet bij voorbaat uitgesloten. Met behulp van het computermodel is het mogelijk (ook voor iemand met beperkte kennis van zaken) om verschillende opties voor de energievoorziening uit te proberen. De aansluiting op een warmtenet, nu door W/E adviseurs als mogelijke extra variant genoemd, had ook kunnen worden doorgerekend. Verder had tijdens het ontwerp van het ontwikkelingsplan een nauwkeuriger schatting van de energievoorzieningsopties kunnen worden gedaan, voordat EWR de mogelijkheden voor de energie-infrastructuur hadden doorgerekend. Zodoende waren misschien meer opties eerder afgevallen, waardoor het onderzoek minder kostbaar wordt.

5.6 Samenvattende conclusies

t.a.v. de ambities

De wens om de uitstoot van CO₂ met 50% te verminderen is in lijn met de internationale doelstellingen om het klimaat probleem onder controle te houden. De beoogde 50 procent CO₂ reductie bleek niet haalbaar op woningniveau zonder aanvullende maatregelen. Uit de berekeningen van EWR blijkt dat een reductie van ongeveer 48% kan worden gehaald met stadsverwarming.

De doelstelling om 20% van de energievoorziening duurzaam te krijgen is (nog) niet gehaald. In de 2^e en 3^e fase worden zonnepanelen geïnstalleerd.

De ambitie voor EPC is vastgesteld op 1,0. Deze wordt gemiddeld gehaald. Wanneer extra maatregelen worden meegerekend (zuinige douchekop etc.) dan wordt zelfs een gemiddelde van 0,9 gehaald [website Oegstgeest].

t.a.v. het proces

Het proces is sterk gestuurd geweest door de projectleider. Hij heeft de verschillende betrokkenen voortdurend op hun toezeggingen heeft aangesproken en zodoende iedereen bij de les heeft gehouden. Er is vanaf het begin af aan een draagvlak gecreëerd voor de hoge ambities.

t.a.v. de rol van het model

Het model zou meteen in het begin van de keuzevorming een goed beeld kunnen vormen van de (on)mogelijkheden van verschillende opties voor de energie-infrastructuur in een woonwijk. Zonder dat daar erg veel specifieke kennis van de gebruiker voor vereist wordt.

Referenties

EWR, 1997, Energie voor Poelgeest: Milieuaspecten en financiële consequenties van verschillende mogelijkheden voor de energievoorziening van de nieuwbouwwijk Poelgeest, Leiden

Gemeente Oegstgeest, 2001, Poelgeest in vogelvlucht, Albanidrukkers BV, Den Haag

Haskoning, 1996, Energielevering Nieuw Poelgeest: Lage Temperatuur Stadsverwarming

Kuiper Compagnons, 1996, Ontwikkelingsplan Poelgeest

Venema, S.W., 1997, Ontwerp: aanbevelingen, adviezen en opmerkingen ten behoeve van een voorbeeldproject in het kader van energiezuinig bouwen, Ingenieursbureau S.W. Venema VOF

Vrins, E., H. Neet, P. Nuiten, 2000, Evaluatie LTS Poelgeest, Novem

Vrins, E., 1996, Nota energievoorziening Nieuw Poelgeest, W/E adviseurs duurzaam bouwen

www.oegstgeest.nl/poelgeest/

www.novem.nl/oei

Bijlage A

Locatieselectie

Als eerste stap is gezocht naar een geschikte groslijst van nieuwbouwwijken. Een overzicht van alle nieuwbouwlocaties binnen Nederland blijkt niet voorhanden. Vervolgens is besloten om contact op te nemen met de gemeenten met meer dan 100.000 inwoners. Deze wijze blijkt niet werkbaar om een volledig overzicht te verkrijgen aangezien alle nieuwbouwlocaties in de gemeenten weer zijn verdeeld over verschillende projectleiders. Een totaal overzicht ontbreekt binnen veel gemeenten.

Om toch tot een zo volledig mogelijke lijst van Nederlandse nieuwbouwlocaties te komen zijn uiteindelijk de volgende overzichten gecombineerd. Het overzicht 'EPL 2000 realisatie' en overzicht 'EPL 1999'. Dit heeft als voordeel dat meteen al op een zeker ambitieniveau wordt geselecteerd. Deze lijsten hebben voor een deel overlap met de lijst van 'VINEX-locaties'. Op deze wijze ontstaat een representatief overzicht van nieuwbouwlocaties en het ambitieniveau op gebied van energievoorziening.

De EPL (Energie Prestatie op Locatie) is een nieuw instrument van de overheid om besparingen op fossiele brandstoffen te realiseren. De EPL ondersteunt gemeenten in hun energiebeleid voor nieuwbouwlocaties. De EPL is net als EPN een maat voor brandstofbesparing, maar dan voor een hele nieuwbouwlocatie inclusief de energievoorziening. De EPL kent een schaal van 0 tot 10, waarbij 10 staat voor een ideaalsituatie waarbij geen fossiele brandstoffen meer worden gebruikt. Bij de aanleg van een aardgas- en elektriciteitsnet op een nieuwbouwlocatie waar de woningen voldoen aan een EPN van 1,0 en zijn voorzien van een Cv-ketel is de EPL 6,0 (standaard referentie).

De verkregen groslijst is omvangrijk (89 locaties). Om de keuzelijst te beperken zijn een aantal selectiecriteria worden opgesteld. De locaties die door deze selectieprocedure komen zijn uitgebreider beschreven om uiteindelijk een gefundeerde keuze te kunnen maken.

Selectiecriteria:

Uitgangspunt: De locaties zijn aanwezig op de uit 'EPL 2000' en 'EPL 1999' samengestelde groslijst.

1. aantal te bouwen woningen > 500

De plannen moeten een minimale omvang hebben van 500 woningen. De mogelijkheid tot integrale aanpak van de energievoorziening moet aanwezig zijn. De beschouwing van de energievoorziening moet het blokniveau ontstijgen.

2. $EPL \geq 7,0$ en $EPC \leq 1,0$

De beoogde EPL moet groter of gelijk zijn aan 7,0. Een EPL van 6,0 is de standaard norm. Voor de EPC is dit 1,0. Binnen dit project wordt gezocht naar een case die, naar de huidige normen (2001), een hoger ambitieniveau heeft.

3. geplande start van realisatie uiterlijk 1998

De geplande start van de bouw mag uiterlijk 1998 zijn. Aangezien de totstandkoming van de energie-infrastructuur in de te kiezen locatie geëvalueerd moet worden, moet deze al wel voor een deel gerealiseerd zijn. Er moet minimaal begonnen zijn met de bouw. Voor wijken met een geplande startdatum na 1998 is de kans groot dat nog niet is begonnen met de daadwerkelijke realisatie.

De selectieprocedure in praktijk

Ten gevolge van het eerste criterium (aantal woningen > 500) vallen de volgende locaties af:

Locatie	EPL	EPC
Drielanden Centrum (Harderwijk)	6.8	0.80
Passewaay buurt 6 (Tiel)	6.6	0.80
Middengebied (Geleen)	6.0	1.0
Schoenmakershoeve 1 (Etten-Leur)	10.0	0.75
Passewaay buurt 5 (Tiel)	6.0	1.0
Parijsch (Culemborg)	6.0	1.0

Wanneer vervolgens de locaties met een $EPL \geq 7,0$ en $EPC \leq 1,0$ worden geselecteerd wordt de lijst beperkt tot:

De landerijen (Lelystad)	EPL	EPC
Groot-Zonnehoeve (Apeldoorn)	9.9	0.75
Zuidbroek (Apeldoorn)	9.9	0.75
Stad van de Zon plandeel 2 (Heerhugowaard)	8.8	0.80/ 0.70
De Kroeten (Breda)	8.6	0.97
Poelgeest (Oegstgeest)	8.0	0.85
Kernhem (Ede)	7.8	0.85
DE Wijk (Tilburg)	7.8	1.0
Stad van de Zon plandeel 3+4 (Heerhugowaard)	7.6	0.70
Waalprong (Nijmegen)	7.4	Onbekend
Wateringse Veld middengebied (Den Haag)	7.4	0.80
Steigereiland (Amsterdam)	7.3	1.0
Leidsche Rijn (Utrecht)	7.2	0.98
Oosterheem (Zoetermeer)	7.2	1.0
Vroonermeer Zuid (Alkmaar)	7.1	0.75
Roomburg (Leiden)	7.1	1.0/ 0.70
Katendrecht Zuid (Rotterdam)	7.1	1.0
IJburg (Amsterdam)	7.3	1.0
Pijnacker Zuid (Pijnacker)	7.2	1.0
Schiehaven/ Mullerpiers (Rotterdam)	7.2	1.0
Stad (Almere)	7.2	1.0
Kop van Zuid (Rotterdam)	7.1	1.0
Driel Oost (Arnhem)	7.1	0.80
Haverleij (Den Bosch)	7.0	Onbekend
Leesten Oost (Zutphen)	7.0	0.80

De Groote Wielen (Den Bosch)	7.0	Onbekend
Delftlanden (Emmen)	7.0	0.90
Dortse Kill III (Dordrecht)	7.0	Onbekend

Na toepassing van het derde selectie criterium, geplande start bouw \leq 1998, blijven de volgende locaties over:

	gemeente	(deel)locatie	Aantal woningen	EPL	Geplande start realisatie	Energievisie
1	Breda	De Kroeten	875	8,6	1998	Ja
2	Oegstgeest	Poelgeest	1047	8,0	1997	Ja
3	Utrecht	Leidsche Rijn	20050	7,2	1997	Ja
4	Almere	Stad	6000	7,2	1998	onbekend

Beschrijving van de potentiële locaties

De Kroeten

Woningen en voorzieningen

Op deze locatie zullen 875 woningen worden gerealiseerd. Naast deze woningen zullen ook twee scholen, een gymlokaal, een ruimte voor kinderopvang, een gezondheidscentrum, speelvoorzieningen, een jongerenontmoetingsplek, acht woonwagendstandplaatsen en een uitbreiding van het volkstuintencomplex Overkroeten.

Energievoorziening

De nieuwbouwlocatie De Kroeten krijgt een energiezuinig systeem voor verwarming en warm water. Het gaat om een Lage Temperatuur Warmtedistributiesysteem waarbij gebruik wordt gemaakt van de retourlevering van het bestaande warmtetransportnet vanuit de Amercentrale in Geertruidenberg (Lage Temperatuur Amerwarmte of LTA). Het bijzondere van het systeem is vooral het lage temperatuurniveau waarop de warmte wordt geleverd van 70 - 40°C.

Het gebruik van dit systeem betekent een flinke bijdrage aan de energiebesparing in Breda. Er is sprake van een energiebesparing van 35% ten opzichte van 1990 vergeleken met nieuwbouw voorzien van aardgasaansluiting en een vermindering van de uitstoot van onder meer kooldioxide. Daarnaast zullen de toekomstige bewoners minder geld voor hun energiekosten kwijt zijn.

In een eerder stadium hebben projectontwikkelaars de gemeente verzocht om te kiezen voor een collectieve windmolen om te voorzien in het gemeentelijk streven om 20% duurzame energieverbruik te realiseren. In de praktijk zal 20% tot 25% duurzame energie geleverd worden. De winst is niet alleen voor het milieu. Ook de bewoners profiteren hiervan. Momenteel is de gemeente bezig om de Stichting windmolen van de grond te krijgen in samenwerking met de ontwikkelaars. De bedoeling is dat de

bewoners zelf bijdragen aan de windturbines en dat zij daarna deelgenoot worden van de opbrengsten.

Bij de ontwikkeling van het plan De Kroeten wordt in alle opzichten rekening gehouden met de energievoorziening. Zo gaat het plan uit van een optimale situering van de woningen onder meer ten opzichte van de zon. De nieuwe woningen in De Kroeten worden energiezuinig gebouwd. Er bestaat aandacht voor isolatie en de woningen krijgen zonneboilers. Deze energievoorziening is voor bewoners niet duurder vergeleken met een woning met een aardgasaansluiting. Door alle maatregelen zal het energieverbruik echter lager uitkomen en daarmee komen de bewoners op lagere energiekosten uit.

Besluitvorming

Het is voor de eerste maal dat de gemeente Breda op deze wijze in overleg is gegaan met twee energiebedrijven om richting te geven aan de energievoorziening voor een nieuwbouwlocatie. Bij het voorbereiden van de visie was ook adviesbureau G3 Advies B.V. betrokken. Voor de eerste maal is in Nederland een procedure gevolgd waarbij twee energiebedrijven op deze manier bij de tender, een vorm van aanbesteding, waren betrokken. Zowel de PNEM als Intergas hebben op verzoek van de gemeente Breda aanbiedingen gedaan voor de aanleg en exploitatie van voorzieningen nodig voor de levering van energie ten behoeve van warmte, verwarming en elektriciteit in De Kroeten. De gemeente formuleerde randvoorwaarden en uitgangspunten op basis waarvan de twee energiebedrijven hun aanbieding hebben gemaakt.

Realisatie

Het is de bedoeling dat de wijk in 3 jaar wordt gerealiseerd. In tegenstelling tot de geplande start van bouw in 1998 is deze volgens een voorlopige planning in 1999.

Medewerking

Er is nog geen informatie ontvangen. In week 12 is er weer contact geweest. Er wordt doorgegeven aan mevr. Van de Muren dat de info moet worden verzonden.

Leidsche Rijn (Utrecht)

Woningen en voorzieningen

In totaal zullen op de locatie Leidsche Rijn 20050 woningen worden gerealiseerd. De locatie is onder te verdelen in meerdere gebieden, te weten: Langerak I, Langerak II, Parkwijk, Vleuten/De Meern.

Langerak I heeft een basisschool en een multifunctioneel gebouw met verschillende voorzieningen. In de komende maanden gaat de eerste paal de grond in voor de kinderopvang tegenover de schoolwoningen. Momenteel wordt een haalbaarheidsonderzoek gedaan naar een tijdelijke winkel en een apotheek.

In Langerak II worden in totaal 670 woningen gebouwd, waaronder een aantal woningen met bedrijfsruimte. De oplevering van de eerste woningen heeft plaatsgevonden in mei 2000. De laatste woningen zullen worden opgeleverd in het voorjaar van 2002. Op deze locatie komen scholen, een vrijetijdscentrum, een kinderdagverblijf, een sportzaal en sportveld en een klein archeologieveld.

Na Langerak is Parkwijk de tweede wijk in Leidsche Rijn Utrecht die in ontwikkeling is genomen. Het is met 86 hectare en 2859 woningen de grootste van de drie woonwijken. Er komen een basisschool, een jongerencentrum, een kantoorgebouw, een gezondheidscentrum en een activiteitencentrum voor ouderen. In het buurtwinkelcentrum ten zuiden van het groot Archeologiepark kunnen bewoners terecht voor hun dagelijkse levensbehoeften. Er zijn twee supermarkten, horecagelegenheden en kleine winkels. In het park komt 'de campus', waarin onder meer het Leidsche Rijn College te vinden is, een middelbare school waar ook topsporters terecht kunnen. Daarnaast is er een atletiekbaan en een grote openbare sporthal en fitnesszaal.

Energievoorziening

De eerste woningen in het deelplan Langerak I zijn aangesloten op een warmtedistributienet. Tijdelijk wordt warmte geproduceerd met een kleine w/k-eenheid. Op termijn wordt warmte geleverd vanuit de UNA-centrale. Vanuit deze centrale wordt de warmte, in vorm van water, via ondergrondse leidingen getransporteerd. Alle woningen en de meeste bedrijven zijn hierop aangesloten. De ambities bestaan uit 25% energiebesparing ten opzichte van 1990; warmtelevering; passieve en actieve zonne-energie; energiezuinig en zongericht bouwen.

Realisatie

De bouw van Parkwijk-Zuid is in volle gang. In mei zijn de eerste woningen opgeleverd; tot februari 2001 worden er ongeveer 35 woningen per week opgeleverd. In het najaar start ook de bouw van de vijf hoogbouwblokken langs het park. In het voorjaar van 2002 zullen de laatste woningen worden opgeleverd in Parkwijk-Zuid. Het bouwrijp maken van de eerste fase van Parkwijk-Noord is in volle gang. In het najaar 2000 start de bouw van de eerste woningen. De bouw van het Duurzaam huis begint ook deze herfst. Komend voorjaar gaan de deuren van dit huis open. In september 2001 zullen de eerste woningen worden opgeleverd in Parkwijk-Noord.

Onderzoek

Er is een groot aantal energiestudies uitgevoerd, met verschillende opdrachtgevers. Deze studies zijn samengebracht in de rapportage 'De Synthese´'.
´

De volgende varianten in de energievoorziening zijn onderzocht:

Warmte en elektriciteit in de gemeente Utrecht, gas en elektriciteit in de gemeente Vleuten/ De Meern

Naast de deellocaties in Utrecht wordt ook de locatie Vleuterweide op het grondgebied Vleuten/ De Meern van warmte voorzien

Als 2 maar dan met het Utrechtse deel ten Noorden van de spoorlijn richting Woerden aansluiten op gas.

Alleen warmte in enkele gebieden ten oosten van de verlegde A2. Een minimale variant voor wat betreft warmtelevering, waarbij alleen het dichtst bebouwde deel van de locatie in Utrecht, dat tevens het dichtst bij de STEG-centrale is gelegen, van warmte wordt voorzien.

Als referentie is een variant met volledig gas en elektriciteit in de berekeningen opgenomen.

[ECN, IVAM, TEBODIN, 1996]

Medewerking

Jos de Vries zit sinds 1996 op dit project. Hij heeft het hele traject vanaf het begin meegemaakt. De gevraagde informatie is binnen. Er wordt een uitgebreide beschrijving gegeven van de mogelijkheden rond de energievoorziening in Utrecht.

*Poelgeest (Oegstgeest)**Woningen en voorzieningen*

In totaal worden er op deze locatie 1047 woningen gebouwd.

Energievoorziening

De uitgangspunten van de gemeente Oegstgeest zijn om in 2010 de CO₂ emissie van vergelijkbare woningen die volgens de gangbare praktijk uit 1990 zijn gebouwd met de helft te reduceren. De gemiddelde EPC mag niet hoger dan 1,0 zijn en de gekozen oplossing moet technisch realiseerbaar en economisch haalbaar zijn.

Deze bestaat uit warmte en elektriciteit: een STEG van 80 MW en 400 woningen met PV-panelen.

Er is onderzoek gedaan naar de mogelijkheden voor aardgas en lokale warmtelevering. Daarnaast is gekeken naar de mogelijkheid van aansluiting op het nabijgelegen warmtedistributienet Meerwijk in Leiden. De benutting van restwarmte van de elektriciteitscentrale in Leiden bleek haalbaar. Warmte wordt onttrokken aan het koelwater en kan onder alle omstandigheden de warmtevraag volledig dekken. Er is alleen een beperkte pompenergie nodig voor transport en distributie. De ambities bestaan uit: levering van warmte aan alle woningen op de locatie; ontsluiting van de restwarmte van de Leidsche elektriciteitscentrale; woningbouw met een EPC van maximaal 1,0; de uitstoot van CO₂ wordt met 50% verminderd (PV platen, maar niet in de eerste fase); stadsverwarming met lage temperatuurverwarming zorgt voor een energiezuinige wijk.

Realisatie

De bouw is begin 1999 gestart en de laatste woningen worden in 2005 gerealiseerd. Bouw in 3 fasen. De eerste fase (450 woningen) is bijna afgerond. In totaal zijn op dit moment 650 woningen gerealiseerd. Het warmtenet is aangelegd.

Onderzoek

Reeds in 1996 is een energiestudie verricht naar de energievoorziening. De verschillende mogelijkheden voor aardgas en warmtelevering zijn onderzocht. De volgende energieopties voor de energievoorziening zijn onderzocht:

1. stadsverwarming met laag temperatuursysteem en kunststof leidingen
2. zonne-gascombinatie met warmteterugwinning
3. mini-WKK
4. Hr-ketel met warmtepompboiler
5. zonne-gascombinatie
6. Hr-ketel met zonneboiler
7. Hr-ketel met warmteterugwinning
8. Hr-ketel

Vijf opties blijken te voldoen aan de EPC eis (1,0) en drie daarvan zijn technisch en praktisch haalbaar. Aan de CO₂ eis (50% reductie) kan geen van de opties voldoen. De drie opties zijn:

1. stadsverwarming met laagtemperatuur systeem
2. zonne-gascombinatie
3. zonne-gascombinatie met warmteterugwinning

Deze opties zijn uitgewerkt in een computerprogramma 'Life Cycle Costing', waarbij wordt gekeken naar de kosten en opbrengsten op lange termijn. Indien bij stadsverwarming met een laag temperatuursysteem van het niet-meer-dan-anders principe wordt uitgegaan, kan deze optie ook haalbaar zijn in vergelijking met de zonne-gascombinatie, bij een aangepaste aansluitbijdrage. Zonne-gascombinatie blijkt de beste keus. Subsidies zijn hierbij buiten beschouwing gelaten. Deze zouden de keuze kunnen beïnvloeden.

De volgende drie voorstellen volgen uit het onderzoek:

1. een stadsverwarmingnet en een elektriciteitsnet met daarbij een mix van andere energieopties (er wordt uitgegaan van elektrisch koken)
2. een conventioneel gas- en elektriciteitsnet met daarbij de zonne-gascombinatie (met of zonder warmteterugwinning)
3. voorstel 2, aangevuld met mini-WKK voor het voornaamste deel van de gestapelde bouw

Medewerking

Bij het informatiecentrum is men zeer behulpzaam. De informatie werd snel opgestuurd. De projectmanager heeft contact met mij opgenomen. Hij was enthousiast en wilde zijn medewerking verlenen. Ook is hij nog parttime projectleider van Kernhem (Ede). Deze man heeft ervaring met verschillende locaties. In Ede is de planning van de nieuwbouw niet vlekkeloos verlopen.

Stad (Almere)

De locatie valt binnen de criteria, maar er is nog geen informatie. De projectmanager is niet bereikt en ook via internet is geen informatie gevonden.

Algemene tendens binnen de locaties

Hieronder wordt een opsomming gegeven die de algemene tendens binnen de gemeenten met betrekking tot energie-infrastructuren weergeeft.

woningen met een hoge isolatiegraad
zongeoriënteerd bouwen
daken die PV en zonneboilers mogelijk maken
gebruik restwarmtestromen
de enige werkelijk afwijkende vorm van energievoorziening (ten opzichte van gas en elektriciteit) die wordt toegepast is warmtelevering. Alleen in Breda is ook sprake van windenergie
de aanpassingen zijn grotendeels op huisniveau

Keuze van de case

Nu de verschillende selectiecriteria zijn toegepast blijven een viertal nieuwbouwwijken over. Er is informatie verzameld over deze locaties om tot een goede keus te kunnen komen. Deze vier moeten goed worden bekeken om tot een keuze voor de casestudie te komen.

Over de locaties Breda, Utrecht en Oegstgeest is beschikbare informatie gevonden. Over Almere kon binnen korte tijd geen informatie worden verkregen. Wegens gebrek aan informatie valt deze dan ook af als potentiële case.

De personen die informatie konden verschaffen binnen de gemeenten Utrecht en Oegstgeest stuurden redelijk vlot uitgebreide informatie toe. De gemeente Breda zegde toe dat de informatie toegestuurd zou worden, maar na enige malen bellen gebeurde dit nog steeds niet. Door gebrek aan medewerking valt ook Breda af.

De ontvangen informatie komt voor Utrecht en Oegstgeest grotendeels overeen. Oegstgeest heeft echter ook informatie op huisniveau voor verschillende typen woningen toegezonden. De in Oegstgeest onderzochte mogelijkheden van energievoorziening zijn gevarieerder dan in Utrecht. Naast stadsverwarming worden hier ook andere opties bekeken, zoals bijvoorbeeld zonne-gascombinatie met warmteterugwinning.

De omvang van de locatie Leidsche Rijn is aanzienlijk (meer dan 20.000 woningen). Dit is te groot om werkbaar te zijn in de case. Oegstgeest is met ruim duizend woningen een kandidaat met een meer geschikte omvang.

Keuze matrix

Cases	Informatie	Medewerking	Realisatie	Energievisie in bezit	Omvang locatie	Variatie in onderzochte toepassingen	Score
Breda	+/-	-	-	-	+	+/-	1-
Utrecht	+/-	+/-	+	+	-	+/-	2,5+
Oegstgeest	+	+	+	+	+	+	5+
Almere	-	-	?	-	?	?	?

Na inventarisatie en evaluatie van de beschikbare informatie lijkt de locatie Poelgeest in de gemeente Oegstgeest de beste kandidaat voor de casestudie.

Deel III: Modelbeschrijving

1 Inleiding

In dit deel wordt een beschrijving gegeven van het te ontwikkelen model waarmee het energievoorzieningsstelsel voor een wijk kwantitatief benaderd wordt. In dit model worden huidige en toekomstige ontwikkelingen en de diverse actoren uit verschillende schaalniveaus en hun mogelijk interactie op het schaalniveau van onderzoek: de wijk voor het licht gehouden.

Onder schaalniveau verstaan we in de context van dit onderzoek een geografisch/bestuurlijke eenheid waarbinnen beslissingen genomen worden.

De beschouwde schaalniveaus zijn:

- Internationaal
- Nationaal
- Lokaal (de wijk)
- Woning

Hoe deze schaalniveaus in het model verwerkt worden staat beschreven in hoofdstuk 3. Maar eerst wordt een algemene introductie op het model in zijn geheel beschreven in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 4 worden de conclusies van dit deel besproken.

2 Het model

Het doel van het hier beschreven model is tweeledig. Enerzijds moet het model geschikt zijn om, met betrekkelijk weinig inspanning en op een toegankelijke manier, een goede kwantitatieve analyse te genereren van wensen en mogelijkheden met betrekking tot de energie-infrastructuur van een wijk in zowel energetische als monetaire termen. Met andere woorden, het model moet:

- eenvoudig te bedienen zijn;
- snel resultaten geven (dus geen eindeloze invulschermen);
- begrijpelijk zijn, zodat geen gedetailleerde kennis noodzakelijk is;
- resultaten genereren die betrouwbaar zijn;
- volledig zijn zodat alle mogelijke opties geïmplementeerd kunnen worden;
- eenvoudig aangepast kunnen worden aan veranderende omstandigheden.

Anderzijds moet het model geschikt zijn voor het doen van scenariostudies. Onder scenariostudies verstaan wij hier de mogelijkheid om voor de ontworpen wijk een toekomstige situatie door te rekenen. Dit zal veelal een veranderde situatie zijn in vergelijking met het heden, met als doel te analyseren welk van de wijkontwerpen het meest robuust is voor veranderingen in de toekomst met betrekking tot veranderingen op het gebied van de energie-infrastructuur. Hierbij kan men denken aan andere prijzen voor de energiedragers. Andere emissiecoëfficiënten (CO₂) van de energiedragers zodat normen niet meer gehaald of juist makkelijker gehaald kunnen worden. Nieuwe technologische ontwikkelingen, een voorbeeld hierbij is waterstof als energiedrager.

Zoals in deel II bleek kan een model zoals hier voor ogen staat, met name in de begin fase van een ontwikkeltraject van een te ontwerpen wijk een grote rol spelen. Zo'n model moet dan, met weinig inspanning een volledig beeld kunnen geven van de mogelijkheden voor een wijk op het gebied van de energievoorziening. Dit heeft als voordeel dat het beeld van de wijk en met name het energieaspect gaat leven in de projectgroep van die wijk. Als tweede voordeel kan worden aangemerkt dat kansloze opties eerder worden onderkend zodat in een later stadium kan worden volstaan met minder (gedetailleerd) onderzoek en dus zo een kosten besparing opleveren.

Bij het maken van een model dat voor derden geschikt moet worden gemaakt is er altijd een spanningsveld tussen eenvoud en detail. Aan de ene kant bestaat de wens om het de gebruiker zo eenvoudig mogelijk te maken. Aan de andere kant wil men het model zo volledig mogelijk maken en de uitkomsten zo betrouwbaar mogelijk hebben. Het eerste kan worden gerealiseerd door een gebruiksvriendelijke 'user-interface' (de schermen die de gebruiker op zijn of haar computer te zien krijgt). Tevens moet er voor gezorgd worden dat de gebruiker geen eindeloze hoeveelheid data in moet voeren. Dit kan bereikt worden door op geschikte plaatsen vereenvoudigingen aan te brengen. Met geschikt wordt hier bedoeld het weglaten/vereenvoudigen/het impliciet maken van details die de einduitkomst slecht minimaal beïnvloeden. Als laatste moet de kennis die de gebruiker heeft aansluiten bij de gegevens die moeten worden ingevoerd. Dit kan bereikt worden door veel kennis in de vorm van databases in de software op te nemen. De gebruiker hoeft hierdoor bijv. niet allerlei technische kennis in het model in te voeren voor een bepaalde verwarmingsinstallatie maar kiest er gewoon een uit een bestaande lijst. Deze aanpak van eenvoud doet echter altijd afbreuk aan de mate van detail en de mogelijkheden voor de goed ingevoerde gebruiker. Om deze laatste toch (gedeeltelijk) tegemoet te komen bestaat in het model de mogelijkheid om de dieper gelegen gegevens aan te passen naar de eigen wensen en eventuele nieuwe inzichten.

3 Modelbeschrijving

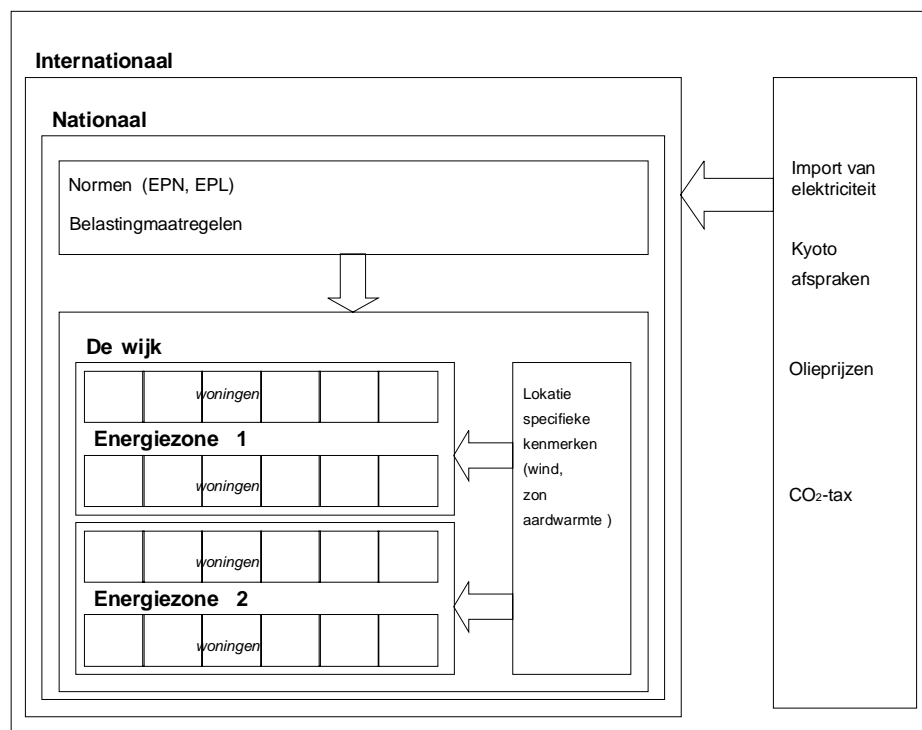
Zoals in de inleiding en in deel I beschreven is, wordt de wijk wordt beschouwd vanuit de vier schaalniveau's. In Figuur 1 staat schematisch weergegeven hoe deze schaal niveau's op de wijk inwerken. Dit hoofdstuk is opgebouwd langs deze 4 niveau's.

3.1 Internationaal

De invloed van het international schaalniveau op de wijk zal zelden direct zijn. In de systeem studie (deel I) kwam reeds naar voren dat deze beperkt zullen blijven tot een drietal invloeden:

- de liberalisatie van de energiemarkt binnen Europa;
- de milieufspraken die gemaakt zijn in Kyoto;
- de wereldmarkt energieprijzen.

Deze internationale invloeden komen niet direct in het model terug als parameters met betrekking tot de te ontwerpen wijk. Deze invloeden vormen de basis voor het doen van scenariostudie; het tweede doel van dit model. Met behulp van voor gedefinieerde scenario's kan de ontworpen wijk getest worden op met name de robuustheid van toekomstige ontwikkelingen op de gekozen energie-infrastructuur.



Figuur 1 model schema

3.2 Nationaal

Op het nationale schaalniveau worden de internationale ontwikkelingen doorvertaald naar het nationale niveau door middel van bijv. beleidsmaatregelen. De liberalisering van de energiemarkt en de Kyoto-afspraken zijn hiervan duidelijke voorbeelden.

Andere invloeden vanuit dit schaalniveau op de wijk die geïdentificeerd zijn in de systeemstudie zijn het belastingstelsel, energie prestatienorm voor de woningbouw, regulering van WKK, energie gerelateerde subsidies.

Tabel 1: modelimplementatie van het nationale schaalniveau

EPN Een door de overheid vastgestelde norm waaraan de huizen minimaal moeten voldoen. Onder de EPN valt een divers scala aan maatregelen.	Er is voor gekozen om de warmtevraag en het warmteaanbod onafhankelijk van elkaar te modelleren. Het gevolg hiervan is dat de EPN niet als een variabele in het model ingesteld kan worden. De berekende EPC komt wel als een resultaat uit de modelberekeningen rollen.
Subsidies	Subsidies op het nationale schaalniveau zijn terug te vinden in de kosten van de diverse keuze opties met betrekking tot de energievoorziening voorbeelden hierbij zijn subsidies voor zonnecollectoren.
WKK	Nationaal beleid rond warmtekrachtkoppeling komt niet expliciet op dit schaalniveau terug in het model. WKK is gewoon een van de keuze mogelijkheden voor een centrale energievoorziening van de wijk.
Belastingstelsel	Belastingen zoals de Regulerende energiebelasting (REB) en de CO ₂ tax komen als prijsscenario's terug in het model.
Duurzame energie	Stimuleringsmaatregelen op nationaal niveau met betrekking tot duurzame energie om de gewenste streef waarden te halen komen op dit schaalniveau niet expliciet terug in het model. Keuzes voor duurzame energie zijn uiteraard wel te maken maar dan op een lager (wijk en woning) schaalniveau.

3.3 Lokaal: de wijk

Op dit schaalniveau worden de concrete beslissingen genomen hoe de energievoorziening van de wijk er uit komt te zien. Deels heeft men dit in eigen hand maar deels wordt dit bepaald door:

- de locatie specifieke kenmerken van de wijk zelf;
- de directe omgeving van de wijk;
- de eisen op het gebied van regelgeving e.d. van een hoger schaalniveau.

In het model kan op wijk niveau een aantal keuzes worden gemaakt. Daar keuzes die op dit niveau gemaakt worden niet noodzakelijk voor de gehele wijk gelden wordt er in het model gewerkt met energiezones. Een energiezone is een groep van 1 of meerdere huizen binnen een wijk met dezelfde infrastructurele kenmerken. Een wijk bestaat uit minimaal 1 energiezone en het maximum is gelijk aan het aantal woningen in de wijk.

In de praktijk zullen het er vaak niet meer dan 2 of 3 zijn. Bij kenmerken die een energiezone binden kan men denken aan:

- stadsverwarming;
- centrale warmte- koude-opslag;
- gas- of elektriciteitsinfrastructuur of juist het ontbreken daarvan.

In **Tabel 2** wordt beschreven hoe de diverse wijkspecifieke kenmerken en keuzes zoals beschreven in deel I in het model zijn opgenomen.

Tabel 2: modelimplementatie van het wijkniveau

<p>Aardwarmte Warmte- en koude-opslag Warmtepompen</p>	<p>Deze opties vallen allen onder collectieve installaties en zullen dan ook te kiezen zijn in een van de model-databases. Aardwarmte en opslag in de bodem zijn uiteraard niet altijd mogelijk. Het model houdt hier echter geen rekening mee. Het is aan de gebruiker om deze opties als al dan niet mogelijk te zien</p>
<p>Klimatologische omstandigheden De buitentemperatuur is de belangrijkste variabele bij het bepalen van de warmtevraag.</p>	<p>In principe in het mogelijk om een onderscheid te maken naar de locatie van de wijk binnen Nederland. Buiten temperaturen van Vlissingen en Eelde verschillen dermate dat je dit ook terug ziet in de warmtevraag van de woning. De EPC werkt echter met een gemiddelde buiten temperatuur voor Nederland welke het best overeenkomt met de klimatologische omstandigheden van de Bilt. Met behulp van graaddagen wordt een correctie toegepast op de uit de EPC referentie woningen komende warmtevraag zodat lokale weersinvloeden toch meegenomen kunnen worden bij de warmtevraag van de wijk.</p>
<p>Zongerichte oriëntatie Dit heeft invloed op de warmtewinst van de woning en op de opbrengst van zonnecollectoren en zonnecellen.</p>	<p>Hoewel het zongericht verkavelen reeds op wijk niveau speelt en hier ook beslist zal worden hoe de straten komen te lopen en dus hoe de algemene oriëntatie van de wijk er uit zal zien, wordt de oriëntatie toch op het niveau van de woning vastgelegd.</p>
<p>Bebouwingsdichtheid Heeft invloed op de lengte van de leidinginfrastructuur en zo op de kosten en verliezen van de leidingen.</p>	<p>De oppervlakte van de wijk en het aantal geplande woningen bepaald de bebouwingsdichtheid. Aan de hand van deze bebouwingsdichtheid wordt de lengte van de infrastructuur bepaald.</p>
<p>Collectieve verwarmingssystemen</p>	<p>Indien gekozen wordt om voor een energiezone een collectief verwarmingssysteem aan te leggen krijgt men de keuze uit een aantal in het model aanwezige opties.</p>
<p>Infrastructuur</p>	<p>De kosten voor infrastructuur wordt bepaald aan de hand van de kosten per meter en de totale leidinglengte. De leidinglengte wordt bepaald door de oppervlakte van de wijk en het aantal woningen. Bij warmtelevering komt hier nog de leidingverliezen bij. Bij warmtelevering wordt tevens rekening gehouden met de locatie van de Warmte bron. Bevindt deze zich aan de rand een einde uit de buurt of juist in the centrum van de wijk. Dit heeft</p>

z'n invloed op de kosten en de leidingverliezen.
--

3.4 De woning

Het energiegebruik van een woning kan worden opgedeeld in het energiegebruik voor verwarmingsdoeleinden: ruimteverwarming en warm tapwater, en het energiegebruik voor andere in het huis te vervullen functies: wassen koken e.d. (elektriciteit en overig gebruik).

De keuzes die op het schaalniveau van de woning mogelijk zijn hangen in sterke mate af van de keuzes die op het schaalniveau van de wijk gemaakt zijn (zie paragraaf 3.3). In deze paragraaf worden die opties besproken, die met name betrekking hebben op dit schaalniveau alleen.

Per energiezone moet in het model alle aanwezige woningen in de desbetreffende zone gedefinieerd worden. Dit hoeft niet voor elke afzonderlijke woning maar wel voor elk type woning. Bijvoorbeeld een straat met bebouwing aan beide zijden een rij gelijke woningen zal toch op vier type woningen uitkomen, daar de oriëntatie van de woningen aan de ene kant van de straat anders is dan aan de andere van de straat (er vanuit gaande dat aan beide zijden bijv. de woonkamer zich aan de straat kant bevindt). Tevens zijn er in een elke rij woningen twee hoekhuizen. Deze verschillen van de tussenwoningen. Ook andere kenmerken zoals type verwarming, isolatie graad en volume kunnen voor andere type woningen zorgen.

In **Tabel 3** worden de opties zoals beschreven in deel I in het model worden geïmplementeerd.

Tabel 3: model implementatie van de woning

Algemeen	Het aantal huizen met de hieronder beschreven kenmerken kan worden ingevoerd.
Warmtevraag De warmtevraag van een woning wordt bepaald door het type woning (rijtjeshuis vrijstaande woning etc.), door het volume van de woning, door klimatologische omstandigheden, door de wijze van ventileren en door de isolatiegraad.	Voor elk verschillend huis moet het type, het vloeroppervlak en de isolatiegraad worden opgegeven. De laatste in de vorm van een isolatiepakket waarvan er een aantal voor gedefinieerd zijn in de model-database. Het verband tussen de warmtevraag van de woning en het vloeroppervlak is nagenoeg lineair en ook nog type afhankelijk. In bijlage A staat uitgewerkt hoe dit in het model is opgenomen. Warmteverliezen als gevolg van ventilatie zijn afhankelijk van de grootte van de woning, het ventilatievoud en de wijze van ventilatie. Het ventilatievoud is een constante. Voor ventilatiesystemen zijn in de modeldatabases enkele optie gedefinieerd. De klimatologische omstandigheden zijn op wijk niveau reeds vastgelegd.

<p>Warmtewinst Deze hangt af van de zoninstraling, de hoeveelheid aanwezige personen en apparatuur.</p>	<p>Voor de warmteproductie van mens dier en apparatuur worden gemiddelden genomen. Meer gegevens zijn voor de bouw niet beschikbaar. De zoninstraling hangt weer af van de oriëntatie, het type raam en het raamoppervlak. Op het moment dat de wijk met de daarbij horende energie-infrastructuur ontworpen wordt en dus het moment in de project fase dat het hier beschreven model gebruikt zal worden zijn de ontwerpen van de woningen nog niet op detail niveau bekend. En kunnen dus niet gebruikt worden als model invoer. Om deze reden wordt met gemiddelde waarden zoals gedefinieerd in de EPC berekenings-systematiek gewerkt.de</p>
<p>Warm tapwaterbehoefte Deze is afhankelijk van het gebruiksgedrag en het aantal gezinsleden.</p>	<p>Daar beide niet bekend zijn wordt hier uitgegaan van een gemiddeld gebruik zoals gedefinieerd in NEN 5128. Dit betekent dat deze slechts afhankelijk is van de grootte van de woning</p>
<p>Resterende energievraag Huishoudelijke energie exclusief die voor ruimteverwarming en warm tapwater.</p>	<p>Dit is geen model invoer. Er wordt gewerkt met gemiddelde zoals gedefinieerd door NEN 5128</p>
<p>Warmte-overdracht De wijze waarop de intermediair energiedrager (meestal water) de warmte naar de te verwarmen ruimte overdraagt.</p>	<p>Afhankelijk van de gekozen installatie om in de behoefte van ruimteverwarming te voorzien kunnen een aantal keuzes worden gemaakt uit de model database.</p>
<p>Energie-aanbod Type verwarmingsinstallatie</p>	<p>Indien gekozen voor lokale verwarming kan hier uit de model database in verwarmingsinstallatie gekozen worden</p>
<p>Duurzame-energie In de meeste gevallen zal dit op het niveau van de woning beperkt blijven tot zonne-energie.</p>	<p>Dit is een optie die gekozen kan worden. Naast het type zal in het geval van zonnecollectoren en zonnepanelen (PV) ook het aantal vierkante meters, de hellingshoek en de oriëntatie moeten worden opgegeven.</p>
<p>Warmteopslag Dit kan zijn opslag voor warm tapwater, etmaal buffering en seizoensopslag.</p>	<p>Dit is een optie die gecombineerd kan worden met het gebruik van duurzame-energie (zonnecollectoren) en de warmtepomp.</p>
<p>Elektriciteitsopslag Alleen relevant indien veel zonnecellen aanwezig zijn en men de teveel geproduceerd elektriciteit niet wil of kan terugleveren aan het net.</p>	<p>Wordt niet geïmplementeerd in het model. Eventueel teveel geproduceerde elektriciteit wordt op het net gestort.</p>

4 Conclusies

In deel I zijn de invloeden, beschouwd vanuit de 4 gedefinieerde schaalniveaus, beschreven. In dit deel is beschreven welke van en hoe deze invloeden in het model geïmplementeerd kunnen worden.

Geconcludeerd kan worden dat alle relevante geïdentificeerde invloeden in het model op een of andere manier in het model worden verwerkt. Een uitzondering hierop vormt de opslag van elektriciteit daar voor dit model aangenomen wordt dat de in de ontworpen wijk geproduceerde elektriciteit aan het nationale net geleverd kan worden.

De in het model gedefinieerde variabelen zijn in drie groepen te verdelen:

- Scenario variabelen: geven dynamiek aan het model;
- Exogene variabelen: variabelen die in het model reeds zijn vastgelegd⁷;
- Endogene: variabelen die door de gebruiker moeten worden ingevoerd.

De scenariovariabelen zijn de tijdreeksen van bijv. energieprijzen m.b.v van deze in het model voorgedefinieerde scenarion's kan de robuustheid van de energievoorziening van de wijk onderzocht worden.

De exogene variabelen zijn de waarden die in het model zijn vastgelegd en waarden die in de database zijn opgenomen. Tot de eerste soort behoren de model parameters benodigd voor het doen van de berekeningen. Een voorbeeld hiervan is de relatie tussen oriëntatie van de woning en de energieopbrengst uit zoninstraling. De tweede soort zijn de parameters van bijv. de installaties die de gebruiker kan kiezen uit de diverse tabellen⁷.

De endogene variabelen zijn keuzes die de gebruiker moet maken ten om enerzijds de inrichting van de wijk vast te leggen (zoals aantal woningen) en anderzijds om de energie-infrastructuur te definiëren (bijv, de isolatie graad).

Door de variabelen op deze manier op te delen kunnen we voldoen aan de eisen die we aan het model gesteld hebben (zie hoofdstuk 3): eenvoud, snelheid maar toch flexibel.

⁷ Voor de 'gewone' gebruiker worden deze variabele als exogeen gezien de professionele gebruiker kan echter de in het model dieperliggende variabelen naar wens aanpassen of opties toevoegen. Het betreft hier met name de database waarin o.a. de technieken voor warmteproductie gedefinieerd zijn.

Referenties

Nederlands Normalisatie-instituut (1998). *NEN 5128: 1998 (Energieprestatie van woningen en woongebouwen - bepalingsmethode)*. Nederlands Normalisatie-instituut.

NOVEM (2000). *OEI: de aanpak*. NOVEM, Utrecht.

Bijlage A: De relatie tussen vloeroppervlak en de warmtevraag

De warmtevraag van een woning hangt af van vele factoren. De belangrijkste zijn het type woning, de grootte van de woning, de mate van isolatie, het raamoppervlak en de wijze van ventilatie. Op het moment dat een wijk ontworpen wordt en het hier beschreven model gebruikt kan worden is nog niet precies bekend hoe de te bouwen woningen er uit komen te zien. Ook omdat het ondoenlijk zou zijn om voor elk verschillend huis een precieze beschrijving van een huis in te voeren, gaan we in dit model uit van de referentiewoningen zoals gedefinieerd door de Novem [Novem 2000]. Op deze manier kunnen de invoer parameters per huis beperkt blijven tot:

- het type huis
- het gebruiksoppervlakte;
- de isolatiegraad;
- de oriëntatie;
- het soort ventilatie.

Het gebruiksoppervlakte:

Omdat een woning met een groter gebruiksoppervlakte dan een referentiewoning ook een ander energiegebruik heeft, zal een opschaling van de referentiewoning naar het gewenste gebruiksoppervlakte een betere benadering geven van het te verwachten energiegebruik. Dit komt omdat een groter gebruiksoppervlak resulteert in een groter energiegebruik. Dit komt onder andere doordat het muuroppervlakte groter wordt wanneer het gebruiksoppervlakte toeneemt. Hierdoor worden transmissie verliezen groter. Tevens zullen de ramen groter worden waardoor de warmtewinst door zoninval weer groter kan worden. Het is daarom zaak de referentie woning zo goed mogelijk te schalen. Dit is op de volgende wijze gedaan:

wanneer alle verhoudingen gelijk gelaten worden, zullen alle wanden, bij een vergroting van het gebruiksoppervlakte met een factor X , een factor wortel X groter worden. Tevens worden de ramen ook een factor wortel X groter. Deuren schalen niet mee, omdat je een deur niet veel groter of kleiner zult maken. Ook deuren met glas erin niet.

Wanneer in een deur glas geplaatst is, schaalt de deur niet, maar het glasoppervlakte wordt wel opgeschaald. Dit heeft de volgende reden: Een deur groter maken is meestal niet functioneel en stuit op bouwkundige problemen. Er zal eerder gekozen worden voor het ernaast plaatsen van een raam, of het extra vergroten van een naastliggend raam. Daarom wordt het glas van een deur wel geschaald, maar de deur zelf niet.

Wanneer de referentiewoningen op de bovenstaande wijze geschaald worden, blijkt dat de transmissie verliezen en de warmte winst nagenoeg lineair meeschalen. Hierdoor is het mogelijk om de verlies en winst posten met een eenvoudige lineaire vergelijking te koppelen aan de schalingsfactor.

Omdat de vergelijking voor de transmissie verliezen afhankelijk zijn van de isolatiegraad en we de gebruiker niet allerlei warmteweerstanden willen laten invullen, zijn vier isolatiepakketten gekozen.

Slecht	De muren, dak en vloer voldoen aan de minimale eis voor de warmteweerstand ($R_c = 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$). Het vensterglas is HR^+ glas met een U-waarde van $2,0 \text{ W/Km}^2$. En de deuren zijn van hout met een U-waarde van $3,4 \text{ W/Km}^2$.
Normaal	Dit zijn de waarden zoals voor de referentie woningen gebruikt zijn. muur, dak en vloer: $R_c = 3,0 \text{ m}^2\text{K/W}$. HR^{++} -glas $U = 1,7 \text{ W/Km}^2$. Houten deuren $U = 3,4 \text{ W/Km}^2$.
Goed	De warmteweerstand van de muren, dak en vloer is verhoogd naar een R_c van $4,0 \text{ m}^2\text{K/W}$.
Zeer goed	De warmteweerstand van de muren, dak en vloer is $5,0 \text{ m}^2\text{K/W}$. Het vensterglas bestaat uit driedubbel glas: $U = 1,5 \text{ W/Km}^2$. De deuren zijn geïsoleerd: $U = 2,0 \text{ W/Km}^2$.

Per isolatiepakket is nu één vergelijking nodig om de transmissie verliezen te kunnen berekenen.

De warmtewinst is afhankelijk van de oriëntatie op de zon. Door de woning in NEN 5129 met stappen van 45 graden te draaien is voor elke oriëntatie een lineaire vergelijking opgesteld voor de warmte winst.

De ventilatie verliezen worden volgens NEN 5128 berekend. Hierbij wordt geen rekening gehouden met al of niet volledig uitschakelbaar zijn van de ventilatiesysteem bij gebruik van warmteterugwinning. Voor het berekenen van $q_{v;i;k}$ is het gemiddelde genomen van de twee formules die gegeven worden. Hierdoor wordt $q_{v;i;k}$ op de volgende manier berekend: $q_{v;i;k} = 0,31 * A_{g;i}$.

Bijlage B: Modelschema

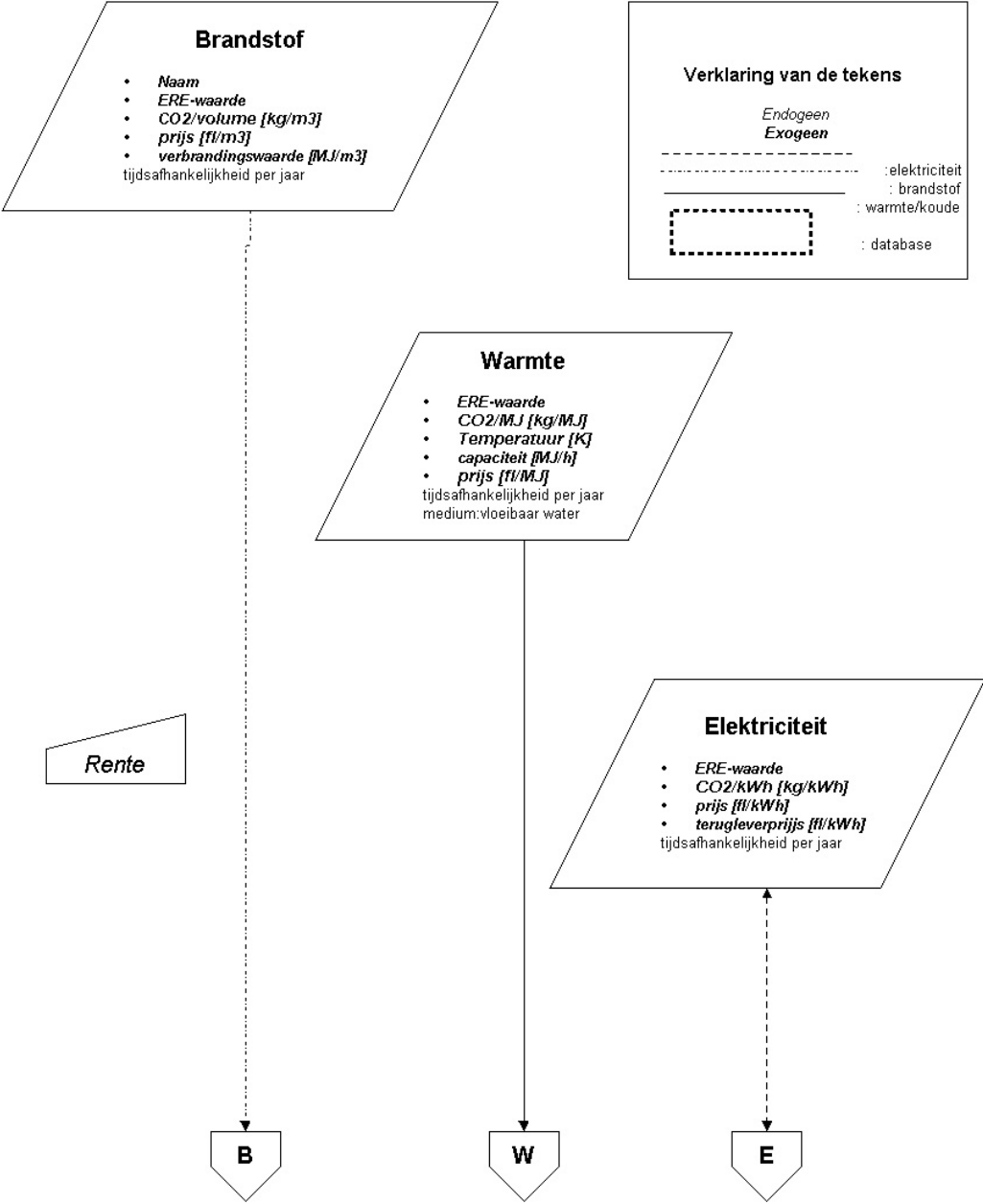
In het modelschema dat is weergegeven op de pagina's hierna, zijn de modelvariabelen en de relaties tussen deze variabelen weergegeven.

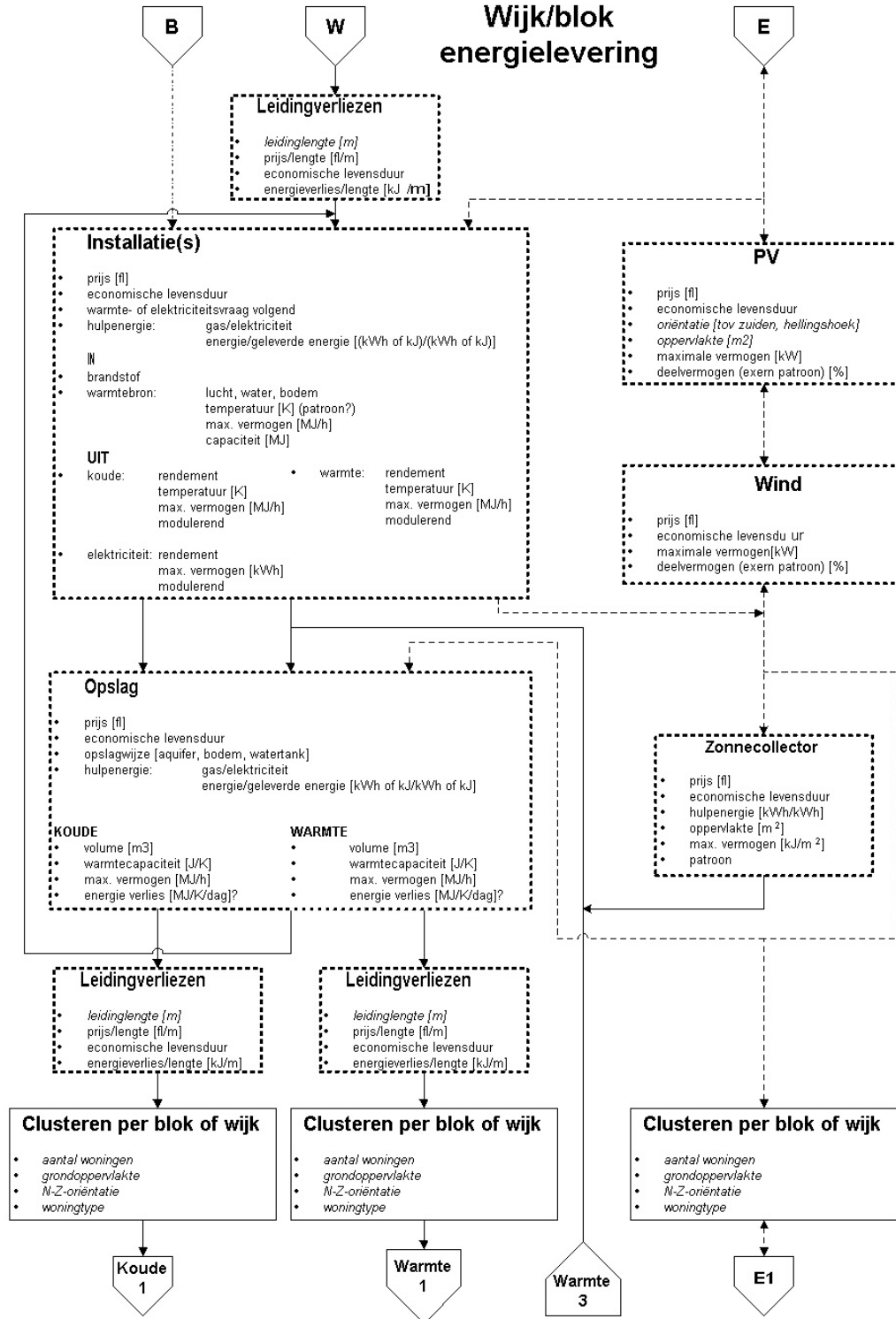
Het schema is over 4 pagina's verdeeld:

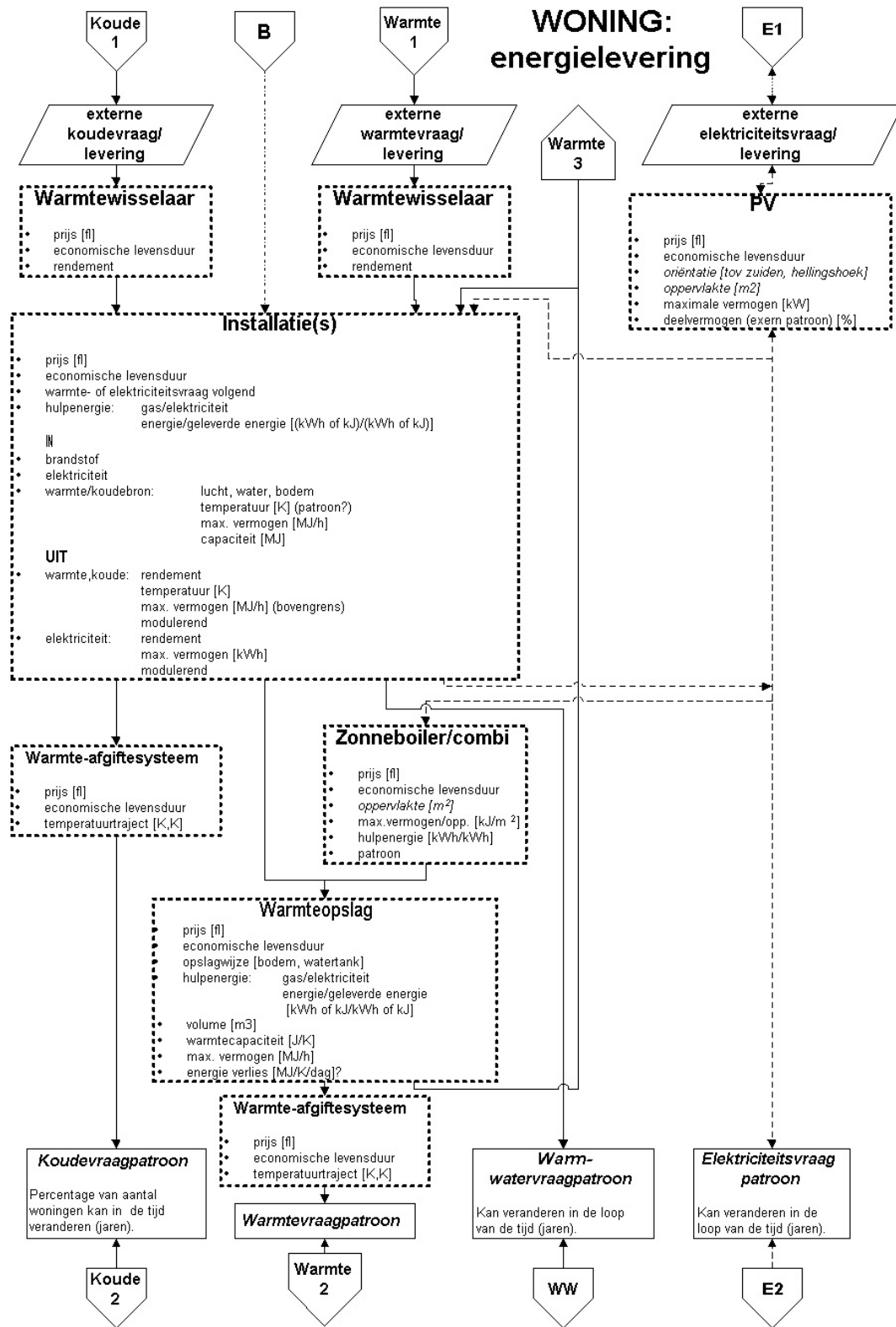
- Externe energielevering;
- Wijk/blok energielevering;
- Woning: energielevering
- Woning: energievraag.

De verbindingen tussen de pagina's lopen via de 5-hoeken, de vijfhoeken van de eerste pagina sluiten aan op die van de tweede pagina etc. Ook in dit schema zijn de scenario (blauw), exogene (zwart) en endogene (rood) variabelen m.b.v. kleuren afzonderlijk weergegeven. De in zwart weergegeven exogene variabelen bestaan uit gegevens uit de modeldatabase (o.a. kenmerken van installaties) als ook de meer harde waarden van bijv, het CO₂-emissiecoëfficiënt per type brandstof. Een in rood rechthoekig weergegeven kader betekent dat de gebruiker de keuze kan maken uit de modeldatabase. De waarden dit kader kunnen deels exogeen deels endogeen zijn.

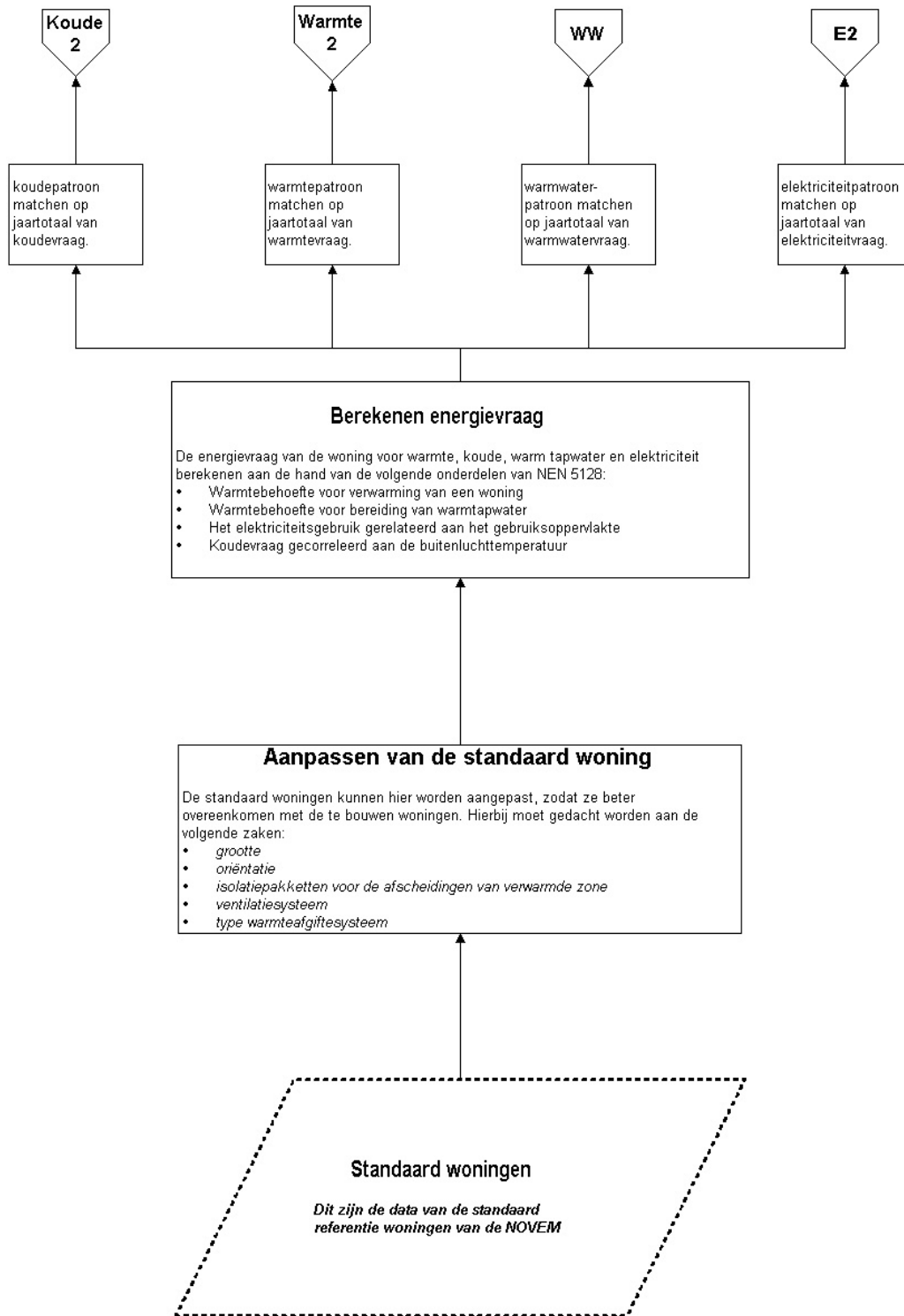
Externe energielevering







WONING: energievraag



Deel IV: Case 2

1 Inleiding

In dit deel staat de tweede casestudie centraal. Waar de eerste casestudie m.n. nog in het teken stond van het opdoen van informatie voor het ontwerpen van het computermodel, staat bij de tweede casestudie de validatie van het computermodel in het middelpunt. In hoofdstuk 2 zal een beschrijving van de werkwijze voor de selectie van een geschikte case worden gepresenteerd. In overleg met het Projectbureau en Wijkbureau Leidsche Rijn zijn een aantal energieconcepten geselecteerd ten behoeve van de analyse van een nieuwe woonwijk, deze worden besproken.

De resultaten van de energie, kosten en emissie analyses van de energieconcepten worden weergegeven in hoofdstuk 3. Dit hoofdstuk zal worden afgesloten met een conclusie en discussie.

2 Casestudie II

2.1 Selectiecriteria

De werkwijze voor het vinden van een geschikte case, is grotendeels gelijk aan die van deel II (Casestudie 1). Hieronder wordt de gekozen werkwijze als een stappenplan gepresenteerd.

Stappenplan voor het vinden van een geschikte case:

- Opstellen groslijst van nieuwbouwlocaties die in aanmerking komen. Dit is gedaan door de overzichten EPL 2000 en 2001-Ambitie, afkomstig van de Novem-website, samen te voegen (zie Bijlage A).

Er ontstaat een duidelijke en representatieve groslijst, waarbij voor de verschillende (deel)locaties een ambitieniveau is weergegeven. Beide lijsten overlappen elkaar gedeeltelijk. Na wegstrepen van de dubbele (deel)locaties, blijven er ongeveer 30 locaties over die in aanmerking komen voor nader onderzoek.

Later zijn aan de groslijst nog de locaties Groningen “Meerstad” en Utrecht “Leidsche Rijn” toegevoegd.

- Vervolgens zijn de locaties onderworpen aan een aantal selectiecriteria:

- 1) Aantal te bouwen woningen > 500;
- 2) $EPL \geq 7.0$ en $EPC \leq 1.0$;
- 3) Geplande start project tweede helft 2002 of later;
- 4) Bereidheid tot medewerking zoals gebleken is in de vorige case-studie. Indien negatieve beoordeling: deze locaties krijgen in eerste instantie niet direct de voorkeur.

Op basis van bovenstaande criteria blijven er 11 gemeenten over (evt. onderverdeeld in meerdere deellocaties): Etten-Leur, Den Haag, Zutphen, Apeldoorn, Harderwijk, s-Hertogenbosch, Leeuwarden, Lelystad, Eindhoven, Utrecht en Groningen.

Vervolgens is steeds een aantal van deze gemeenten benaderd, waarbij de potentiële locaties aan meer gedetailleerde criteria zijn onderworpen:

- 5) Bereidheid om mee te werken aan het onderzoek;
- 6) Geen concrete invulling van de energievoorziening;
- 7) De mogelijkheid tot een integrale aanpak van de energievoorziening. De beschouwing van de energievoorziening moet op wijkniveau plaats kunnen vinden;
- 8) Wel (gedeeltelijke) ruimtelijke invulling van het plangebied (bijvoorbeeld aantal en type woningen, oppervlak van het gebied, etc.);
- 9) Bij voorkeur sprake van verschillende wensen m.b.t. de energievoorziening, zodat verschillende opties kunnen worden doorgerekend;
- 10) Analyse pilot-case moet inpasbaar zijn binnen tijdsbestek van het onderzoek.

Niet alle voorgenoemde gemeenten zijn aangeschreven. Uiteindelijk hebben de volgende gemeenten gereageerd op het verzoek voor informatie:

s-Hertogenbosch, Leeuwarden, Lelystad, Utrecht, Groningen, Etten-Leur en Zwolle.

Een aantal gemeenten voldeed niet aan de criteria. Een overzicht van de redenen staat in tabel 1.

Tabel 1: Overzicht redenen waarom locaties zijn afgevallen.

Gemeente	Reden
Etten-Leur	Problemen met de personele bezetting, daardoor te druk
Zwolle	Reactie nadat definitieve keuze voor Leidsche Rijn was gemaakt
s-Hertogenbosch	Model direct inzetbaar in periode mei/juni 2002. Geen uitstel mogelijk.
Leeuwarden	Te ver gevorderd stadium invulling, reeds adviesbureau ingezet
Lelystad	Communicatie probleem gevraagde informatievoorziening
Groningen	Te weinig ruimtelijke invulling bekend op korte termijn

Uiteindelijk is gekozen voor de gemeente Utrecht met de Vinex-locatie “Leidsche Rijn”. In eerste instantie betrof het de deellocaties “Het Zand” en “Balijs”. Echter er bleek bij nader inzien te weinig bekend en teveel onzeker over de woninginvulling (aantal en typen) op beide deellocaties. De definitieve keuze is daarom gevallen op deellocatie “Terwijde”.

2.2 Energieconcepten deelgebied Terwijde locatie Leidsche Rijn

In overleg met de heren Hendriks (projectbureau Leidsche Rijn) en Kuijpers (wijkbureau Leidsche Rijn) is overeengekomen welke energie-infrastructuurconcepten in de analyse zijn betrokken. Hieronder volgt eerst een algemene beschrijving van de locatie en uitgangspunten, daarna wordt ingegaan op de concepten.

2.2.1 Uitgangspunten

Het totaal aantal voor dit onderzoek geïnventariseerde woningen bedraagt 528. De beschrijving en karakteristieken van de woningen zijn ontleend aan de verstrekte verkoopdocumentatie. De isolatiepakketten van de woningen worden gedefinieerd volgens de gehanteerde criteria in het model⁸.

Op basis van de gedefinieerde isolatiepakketten kan het aantal woningen per isolatie-categorie worden bepaald (zie tabel 2).

⁸ Isolatie van de woningen:

Omdat de vergelijking voor de transmissie verliezen afhankelijk zijn van de isolatiegraad en we de gebruiker niet allerlei warmteweerstanden willen laten invullen, zijn vier isolatiepakketten in het model gekozen.

Slecht:

De muren, dak en vloer voldoen aan de minimale eis voor de warmteweerstand ($R_c = 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$). Het vensterglas is HR⁺ glas met een U-waarde van $2,0 \text{ W/Km}^2$. En de deuren zijn van hout met een U-waarde van $3,4 \text{ W/Km}^2$.

Normaal:

Dit zijn de waarden zoals voor de referentie woningen gebruikt zijn. Muren, dak en vloer: $R_c = 3,0 \text{ m}^2\text{K/W}$. HR⁺⁺-glas $U = 1,7 \text{ W/Km}^2$. Houten deuren $U = 3,4 \text{ W/Km}^2$.

Goed:

De warmteweerstand van de muren, dak en vloer is verhoogd naar een R_c van $4,0 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Zeer goed:

De warmteweerstand van de muren, dak en vloer is $5,0 \text{ m}^2\text{K/W}$. Het vensterglas bestaat uit triple glas: $U = 1,5 \text{ W/Km}^2$. De deuren zijn geïsoleerd: $U = 2,0 \text{ W/Km}^2$.

Tabel 2: Overzicht aantal woningen per isolatiepakket.

Type isolatiepakket	Aantal woningen
Slecht	73
Normaal	400
Goed	55
Zeer goed	0
Totaal	528

Er zijn 53 type woningen onderscheiden die op een of meerdere punten van elkaar verschillen in de modelparameters (bijvoorbeeld op basis van type woning, oriëntatie, gebruiksoppervlak en isolatie).

Terwijde is opgedeeld in zogenaamde eilanden. Het oppervlak van het geanalyseerde plangebied is geschat op ca. 237000m².⁹ De geïnventariseerde woningen staan verspreid over de “eilanden” 1, 2, 3, 9, 10, 11 en 15. Van een aantal eilanden zijn niet alle woningen meegenomen, omdat niet bekend is hoeveel en welk type er geplaatst gaan worden. Indien van een woning geen beschrijving in de verkoopdocumentatie is weergegeven, maar wel in de verkoopdocumentatie wordt vermeld bij de te bouwen woningen, zijn er zo goed mogelijk aannames gemaakt.

In hierna volgende paragrafen staan een drietal concepten beschreven. De drie concepten verschillen in de gebruikte energievoorziening voor Terwijde. Voor alle in de concepten beschreven technieken en installaties geldt, dat ze momenteel beschikbaar zijn en kunnen worden toegepast bij nieuwbouwwoningen.

Concepten twee en drie zijn mogelijke alternatieven voor concept één. Bij ieder concept staan een aantal varianten op de uitgangssituatie vermeld.

Concept één is een weerspiegeling van de situatie zoals deze gerealiseerd gaat worden in deelgebied Terwijde, namelijk levering van warmte (tapwater en cv) en elektriciteit uit de “UNA“ elektriciteitscentrale (gevestigd aan de Atoomweg 7-9 op industrieterrein Lage Weide). In principe staat dit energieconcept vast. De keuze voor “stadsverwarming” is al in het verleden (90-er jaren) gemaakt. Maar bewoners uit andere deellocaties van Leidsche Rijn hebben “problemen” met het warmtenet in hun wijk. Daarom het verzoek van de gemeente Utrecht om ook energievoorzieningsconcepten zonder warmtenet in de analyse te betrekken. De uiteindelijke resultaten kunnen meewegen bij de infrastructuurkeuze in andere delen van Leidsche Rijn, waar nu ook warmtenet staat gepland.

⁹ De woningdichtheid komt hiermee op ca. 22.3 woningen/ha.

2.2.2 *Concept 1: Warmtenet & elektriciteit (huidige situatie)*

In Terwijde wordt gebruik gemaakt van de restwarmte en elektriciteit van de UNA-elektriciteitscentrale (in het model STEG-centrale¹⁰). De restwarmte ontstaat bij de opwekking van elektriciteit. In een van de gebouwen van de elektriciteitscentrale is ook een warmteoverdrachtstation (WOS) geplaatst. Via het WOS wordt (o.a.) het warmtenet van Terwijde gevoed. Voor de transportleidinglengte tot aan het onderstation(s) in de wijk wordt uitgegaan van 1250m (1000-1500m). Het aantal onderstations, primaire en secundaire netwerklengte worden berekend door het model en zijn respectievelijk 2 stations, 344m en 11616m. Het warmtenet (aanvoertemperatuur water 70°C, is “midden temperatuur” in model) dient zowel voor ruimteverwarming als warmtapwaterbereiding.

De leidingen in de woningen zijn zoveel mogelijk in de cementvloer en leidingschacht aangebracht. Het warme water voor tap en cv wordt geleverd door een warmtewisselaar in de meterkast. De woningen hebben aansluitpunten voor een (elektrische) boiler, maar deze is niet aanwezig.

Er is geen aardgasnet in Terwijde. Koken wordt gedaan m.b.v. elektriciteit¹¹. De woningen zijn voorzien van een individueel mechanisch ventilatiesysteem, waarbij de afzuigopeningen ventielen hebben. Het toerental is regelbaar op drie snelheden, middels een bedieningsschakelaar in de woning. De natuurlijke ventilatie vindt plaats via ventilatieroosters en schuiframen. Er vindt geen warmteterugwinning via ventilatie plaats.

De woningen hebben geen aansluitpunten voor hotfill apparaten. Alle woningen zijn geïsoleerd volgens de beschrijving in de verkoopdocumentatie. Tevens zijn alle woningen uitgerust met een warmte-afgiftesysteem overeenkomstig de verkoopdocumentatie (convectoren en radiatoren).

Varianten concept 1:

A: Alle woningen in Terwijde worden “goed” geïsoleerd;

B: Idem als A, maar nu tevens met de introductie van PV-cellen voor elektriciteit.

Hierbij is uitgegaan van vrijstaande (mono-) kristalijne PV-panelen (niet dak geïntegreerd) met een centrale omvormer (bijvoorbeeld in de meterkast). Omdat de woningen in Terwijde over het algemeen platte daken hebben, wordt uitgegaan van een optimale oriëntatie van de PV-panelen: zuid en verticaal 30°¹². Als PV-oppervlak is gekozen voor 3 m².

2.2.3 *Concept 2: Aardgas & elektriciteit (conventioneel)*

Er is sprake van een conventionele energievoorziening met een aardgas- en elektriciteitsnet per woning. De restwarmte van de UNA-elektriciteitscentrale wordt voor andere toepassingen gebruikt dan levering voor warm tapwater en verwarming voor de woningen in Terwijde (bijvoorbeeld andere industrie of glastuinbouw o.i.d.). Elektriciteit wordt nog wel geleverd door de UNA-elektriciteitscentrale.

¹⁰ Er is gekozen voor een STEG-centrale. Echter in het model is het mogelijk om te kiezen voor industriële restwarmte. De keuze heeft invloed op de CO₂ emissie en fossiele energievraag. In paragraaf 3.4 wordt hier nader op ingegaan.

¹¹ Met koken is (vooralsnog) geen rekening gehouden in het model, dus onderscheid tussen koken op elektrisch of aardgas is niet van toepassing.

¹² De meest optimale hellingshoek is 36°. Echter het model geeft alleen de opties 30° en 45°, waarvan 30° een hogere opbrengst geeft dan 45°.

Het verwarmingssysteem bestaat uit traditionele radiatoren (90/70°C). Er wordt gebruik gemaakt van een HR-combi-ketel (107-108%) en mechanische ventilatie met warmteterugwinnings-unit (wtw-unit 75%). Koken kan zowel elektrisch als met aardgas. Alle woningen zijn geïsoleerd volgens de beschrijving in de verkoopdocumentatie.

Varianten concept 2:

A: Alle woningen in Terwijde worden “goed” geïsoleerd;

B: Idem als A en de woning wordt tevens uitgerust met een zonneboiler¹³ met een 180 liter boilervat. Als oppervlak van de zonnecollectoren wordt uitgegaan van 3m². De oriëntatie is zuid en 30° vertikaal.

C: Idem als B en de introductie bij alle woningen van een gasverwarmde wasdroger (gasstopcontact).

2.2.4 *Concept 3: Elektriciteit & individueel elektrische warmtepomp*

In Terwijde ligt alleen een elektriciteitsnet. De elektriciteit is afkomstig van de UNA-elektriciteitscentrale. Iedere woning is voorzien van een elektrische warmtepomp en ventilatie met warmteterugwinning (75%). De warmtepomp gebruikt de buitenlucht als warmtebron. De warmtepomp levert de warmte voor zowel het tapwater als de verwarming. Er worden convectoren en radiatoren als verwarmingslichaam gebruikt. Alle woningen zijn geïsoleerd volgens de beschrijving in de verkoopdocumentatie.

Varianten concept 3:

A: Alle woningen in Terwijde worden “goed” geïsoleerd;

B: Idem als A en alle woningen worden uitgerust met PV-cellen voor elektriciteit. Voor het oppervlak van de panelen wordt uitgegaan van ca. 3m². De oriëntatie is zuid en 30° vertikaal;

C: Idem als A en bij alle woningen vindt implementatie van hotfill vaatwasser en wasmachine plaats (hotfill-aansluiting);

D: B en C gecombineerd.

¹³ De warmte van de zon wordt gebruikt om tapwater te verwarmen. De HR-combiketel zorgt eventueel voor het na/bijverwarmen van het tapwater en de ruimteverwarming.

3 Resultaten

In dit hoofdstuk zullen de resultaten van de analyses van de verschillende energieconcepten worden besproken. Hierbij wordt uitgegaan van de schaalniveaus in het model, te weten: wijk, energiezone en woningen.

Aangezien bij de verschillende energieconcepten steeds sprake is van 1 type (gemeenschappelijke) energievoorziening, zal daarom de wijk bestaan uit 1 energiezone waarin alle geanalyseerde woningen zich bevinden.

De (gemiddelde) resultaten op woningniveau betreffen het gemiddelde van de verschillende type woningen (53 typen) en zijn dus niet bepaald op basis van het aantal woningen dat per type in het plangebied voorkomt.

De uitgangspunten van alle concepten zijn reeds in het voorgaande hoofdstuk gepresenteerd. In paragraaf 3.1 t/m 3.3 passeren respectievelijk de energieconcepten Warmtenet & Elektriciteit (concept 1), Aardgas & Elektriciteit (concept 2) en Elektriciteit & Individuele elektrische warmtepomp (concept 3) de revue. In paragraaf 3.4 zullen de alternatieve concepten 2 en 3 met het huidige energieconcept in Terwijde (Warmtenet & Elektriciteit) worden vergeleken op de punten Energie, Kosten en Emissie van CO₂. Het geheel wordt afgesloten met een Conclusie.

3.1 Warmtenet & Elektriciteit

In tabel 3 en 4 is een overzicht gegeven van de resultaten op wijk, zone en woningniveau. De eerste kolom betreffen de parameters waarop wordt beoordeeld. De tweede kolom de uitgangssituatie.

Tabel 3: Overzicht resultaten energieconcept Warmtenet & Elektriciteit op wijk en energiezone niveau.

Parameters	W+E	Variant A	Variant B
Isolatie woningen	Verkoop	Goed	Goed
Aantal woningen met PV	0	0	528
PV-oppervlak per woning (m ²)	0	0	3
PV-opbrengst (totaal) (GJ) ¹⁴	0	0	516.15
Bruto elektr.vraag woningen (tot) (GJ) ¹⁵	3442.5	3442.5	2926.4
Elektriciteitsvraag woningen (tot) (GJ)	3442.5	3442.5	2410.2
Warmtevraag (totaal) (GJ)	22176	20345	20345
Ruimteverwarming (GJ)	15846	14015	14015
Tapwater (GJ)	6330	6330	6330
Wijk (euro) ¹⁶	392625	392625	392625
Energiezone (infrastructuur) (euro)	2606835	2606835	2606835
Woningen (vast) (euro)	3131924	3436676	4872176

¹⁴ Omrekenen GJ naar MWh: delen door 3.6, ofwel 516.2 GJ komt overeen met 143.4 MWh (1000kWh = 1MWh).

¹⁵ Bruto elektriciteitsvraag: is netto elektriciteitsvraag (bijv. elektriciteitsverbruik ventilatoren, verlichting, huisinstallaties, etc.) + systeemverliezen, welk geleverd moet worden door opwekinstallatie.

¹⁶ De kosten op wijkniveau bestaan alleen uit het transportnet voor warmte. Op energiezone niveau worden de kosten van alle aanwezige leidingnetten meegerekend (hier warmtenet en elektriciteit).

Tabel 4: Overzicht resultaten energieconcept Warmtenet & Elektriciteit woningniveau.

Parameter	W+E	Variant A	Variant B
EPC –waarde ¹⁷	0.95	0.88	0.82
Warmtebehoefte (MJ) ¹⁸	31068.7	26572.4	26572.4
Warmtevraag (MJ) ¹⁹	45127.1	40394.1	40394.17
Warmte voor ruimteverwarming (MJ)	32703.9	27970.9	27970.91
Warmte voor tapwater (MJ)	12423.3	12423.3	12423.3
Elektriciteitsvraag (kWh)	1853.6	1853.6	1582.0
Elektriciteitsvraag primair (MJ) ²⁰	17109.4	17109.4	14602.7
PV-opbrengst (kWh)	0	0	272
Investeringskosten (euro)	5991.2	6723.9	9442.6
Variabele kosten (euro/jaar)	1254.7	1160.1	1108.4

Voorgaande tabellen laten zien dat bij een betere isolatie de warmtevraag voor ruimteverwarming afneemt met zo'n 4733 MJ per woning (1831GJ energiezone), ofwel ruim 14% ten opzichte van de uitgangssituatie. Hierdoor dalen tevens de variabele kosten met €5,- per jaar per aansluiting, terwijl de investeringskosten €733,- hoger liggen.

Implementatie van PV-panelen zorgt voor een daling van de elektriciteitsvraag Energiezone met 516 GJ (15%). Op woningniveau daalt de elektriciteitsvraag met 272kWh. De meerkosten van PV is ruim €700,- per woning en de variabele kosten dalen met €52,- per jaar per aansluiting.

Op wijk niveau bestaan de kosten uit het transportnet van warmte en op energiezone niveau uit het primair/secundair warmtenet, onderstations en elektriciteitsnet. De investeringskosten voor het warmtenet liggen ruim een factor 10 hoger dan voor het elektriciteitsnet.

3.2 Aardgas & Elektriciteit

In deze paragraaf komen de resultaten van een conventionele energievoorziening in Terwijde aan de orde. De HR-combiketel voorziet in de warmtebehoefte voor ruimteverwarming en tapwater. De resultaten staan vermeld in de tabellen 5 en 6. De tweede kolom betreft wederom de uitgangssituatie.

¹⁷ EPC (Energie Prestatie Coëfficiënt van een woning): wordt bepaald door het berekend jaarlijks verbruik van fossiele brandstoffen voor verwarming, ventilatie, bereiding warmtapwater, verlichting (en koeling) te delen door een genormeerd verbruik (bron: NEN5128, 2e druk, dec. 1998).

¹⁸ Warmtebehoefte is netto benodigde warmte voor ruimteverwarming + tapwater (exclusief verliezen).

¹⁹ Warmtevraag is gelijk aan netto warmtebehoefte + leiding/systeemverliezen, welk geleverd moet worden door opwek-installatie.

²⁰ Primair energiegebruik: Het totale verbruik per jaar aan energie ontleend aan fossiele brandstoffen (in MJ), direct of via warmtekracht en elektriciteit, door gebouwinstallaties (bron: NEN 5128, 2e druk, dec.1998).

Tabel 5: Overzicht resultaten energieconcept Aardgas & Elektriciteit op wijk en energiezone niveau.

Parameters	A+E	Variant A	Variant B	Variant C
Isolatie woningen	Verkoop	goed	goed	Goed
Aantal woningen m. zonneboiler	0	0	528	528
Collector opp. per woning (m ²)	0	0	3	3
Collector opbrengst (totaal) (GJ)	0	0	1952.2	1952.2
Aantal woningen m. gasstopcontact	0	0	0	528
Bruto elektr.vraag woningen (GJ)	4275.2	4254.8	4247.6	3711.7
Elektriciteitsvraag woningen (GJ)	4275.2	4254.8	4247.6	3711.7
Aardgasvraag (totaal) (GJ) ²¹	21412	19557	16798	17338
Aardgas ruimteverwarming (GJ)	10683	8828	8828	8828
Aardgas tapwater (GJ)	10729	10729	7970	7970
Wijk (euro)	0	0	0	0
Energiezone (infrastructuur) (euro)	1061909	1061909	1061909	1061909
Woningen (vast) (euro)	3775624	4061542	5049958	5049958

Tabel 6: Overzicht resultaten energieconcept Aardgas & Elektriciteit woningniveau.

Parameter	A+E	Variant A	Variant B	Variant C
EPC –waarde	1	0.93	0.82	0.82
Warmtebehoefte (MJ)	20409.2	16062	16062	16062
Aardgasvraag (MJ)	43682.8	38866	33357.2	34378.8
Aardgas ruimteverwarming (MJ)	22614.0	17797.3	17797.3	17797.3
Aardgas tapwater (MJ)	21068.9	21068.9	15559.9	15559.9
Elektriciteitsvraag (kWh)	2312.5	2297.8	2293.3	2011.4
Elektriciteitsvraag primair (MJ)	21346.4	21210.5	21169	18566.2
Zonnecollector-opbrengst (MJ)	0	0	3697.3	3697.3
Investeringskosten (euro)	7234.6	7918.2	9790.1	9790.1
Variabele kosten (euro/jaar)	1127.5	1048.6	961.2	923.5

Door betere isolatie daalt de totale aardgasvraag (tabel 5) voor ruimteverwarming met 1855 GJ en op woningniveau gemiddeld met 4817 MJ (152 m³). Dit komt overeen met zo'n 21% minder aardgas ten opzichte van de uitgangssituatie. Als ook nog een zonneboilersysteem wordt gebruikt (variant B), dan is de totale besparing op de aardgasvraag op woningniveau ongeveer 10326 MJ (5509 MJ tapwater en 4817 MJ ruimteverwarming). Dit is ongeveer overeenkomstig met 326 m³ aardgas.

De implementatie van gasstopcontacten zorgt voor een daling van de primaire elektriciteitsvraag met 2603 MJ (12%) per woning, doordat gebruik wordt gemaakt van een gasgestookte wasdroger. Er is wel een toename van de aardgasvraag met 1021.6 MJ (32.3m³) per woning.

De totale investeringskosten (wijk, energiezone en woningen) nemen bij variant A met €85918,- toe ten opzichte van de uitgangssituatie. Het zonneboilersysteem doet de investeringskosten nog eens met €88416,- stijgen.

Gerekend op woningniveau betekent het totale pakket (isoleren, zonneboiler en gasstopcontacten) een gemiddelde meerinvestering van €2556,- per woning. De variabele kosten dalen in totaal met €204,- per jaar per aansluiting.

²¹ Omrekenen GJ naar m³ aardgas: Uitgaande van ca. 31.65 MJ/m³ (calorische waarde aardgas Slochteren), komt 21412 GJ overeen met ca. 676524 m³.

3.3 Elektriciteit & Individuele warmtepomp

Bij dit laatste energieconcept vindt alle energielevering plaats op basis van elektriciteit. De benodigde warmte voor ruimteverwarming en tapwater wordt met een elektrische warmtepomp opgewekt. Tevens zorgt ventilatie met warmteterugwinning voor een besparing op de warmtebehoefte. Nadat bij variant A de woningen allemaal op isolatieniveau “goed” zijn gebracht, worden bij variant B nog eens PV-panelen geplaatst. Variant C behelst de implementatie van hotfill-aansluitingen in de woning voor de afwasmachine en de wasmachine. De resultaten staan in de tabellen 7 en 8.

Tabel 7: Overzicht resultaten energieconcept Elektriciteit & Warmtepomp op wijk en energiezone niveau.

Parameters	Wpomp+E	Variant A	Variant B	Variant C
Isolatie woningen	Verkoop	goed	goed	goed
Aantal woningen met PV	0	0	528	528
PV opp. per woning (m ²)	0	0	3	3
PV opbrengst (totaal) (GJ)	0	0	516.2	516.2
Aantal woningen m. hotfill-aansl.	0	0	0	528
Bruto elektr.vraag woningen (GJ)	12137.5	11529.8	11013.7	10858.6
Elektriciteitsvraag (totaal) (GJ)	12137.5	11529.8	10497.5	10342.4
Elektr. ruimteverwarming (GJ)	3500	2892	2892	2892
Elektr. tapwater (GJ)	4598	4598	4598	4859
Wijk (euro)	0	0	0	0
Energiezone (infrastructuur) (euro)	410928	410928	410928	410928
Woningen (vast) (euro)	6396526	6573656	8009156	8009156

Tabel 8: Overzicht resultaten energieconcept Elektriciteit & Warmtepomp woningniveau.

Parameter	Wpomp+E	Variant A	Variant B	Variant C
EPC –waarde	0.96	0.91	0.83	0.83
Warmtebehoefte (MJ)	20409.2	16062	16062	16062
Elektr. ruimteverwarming (MJ)	7408.1	5830.2	5830.2	5830.2
Elektr. tapwater (MJ)	9029.4	9029.4	9029.4	9533.9
Elektriciteitsvraag (kWh)	6745	6306.7	6035.2	5956.4
Elektriciteitsvraag primair (MJ)	62261.8	58215.8	55709.4	54982.1
PV-opbrengst (kWh)	0	0	272	272
Investeringskosten (euro)	12338.1	12739.2	15457.8	15457.8
Variabele kosten (euro/jaar)	1281.6	1198.3	1146.7	1131.7

Evenals bij alle voorgaande energieconcepten zorgt een betere isolatie voor energiebesparing. In dit geval op de elektriciteitsvraag. De warmtebehoefte daalt met 4347 MJ per woning (21%). Wanneer PV-panelen worden geplaatst, is er een verdere daling in de elektriciteitsvraag met 272 kWh per woning. Door de hotfill-aansluitingen neemt de elektriciteitsvraag af, maar de benodigde elektriciteit voor het verwarmen van tapwater neemt toe. Echter het netto resultaat is een primaire energiebesparing van 727 MJ per woning ten opzichte van woningen zonder hotfill-aansluiting.

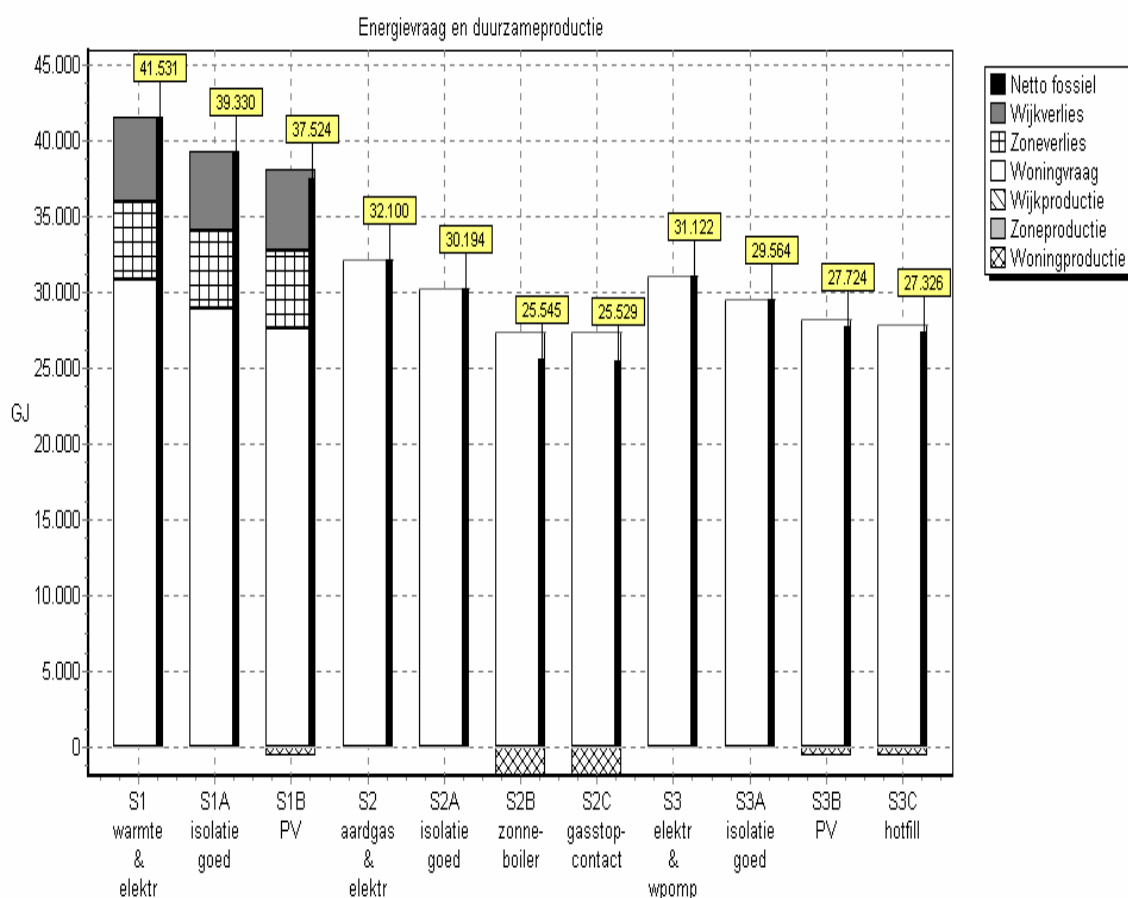
De totale energiebesparing in variant C ten opzichte van de de uitgangssituatie is op woningniveau 11%. De meerinvestering van het totale pakket zijn ca. €120,-. Hiervan is ruim €700,- voor PV-panelen. Tegenover deze meerkosten staat een daling van de variabele kosten met €150,- per jaar.

3.4 Vergelijking Energieconcepten Wijk

De energieconcepten worden op een aantal punten beoordeeld en vergeleken: energie, kosten en emissie van CO₂. In paragraaf 3.4.1 wordt gestart met een vergelijk op energetische aspecten.

3.4.1 Energievraag en duurzame productie wijk

In figuur 1 zijn alle energieconcepten en varianten naast elkaar afgebeeld.



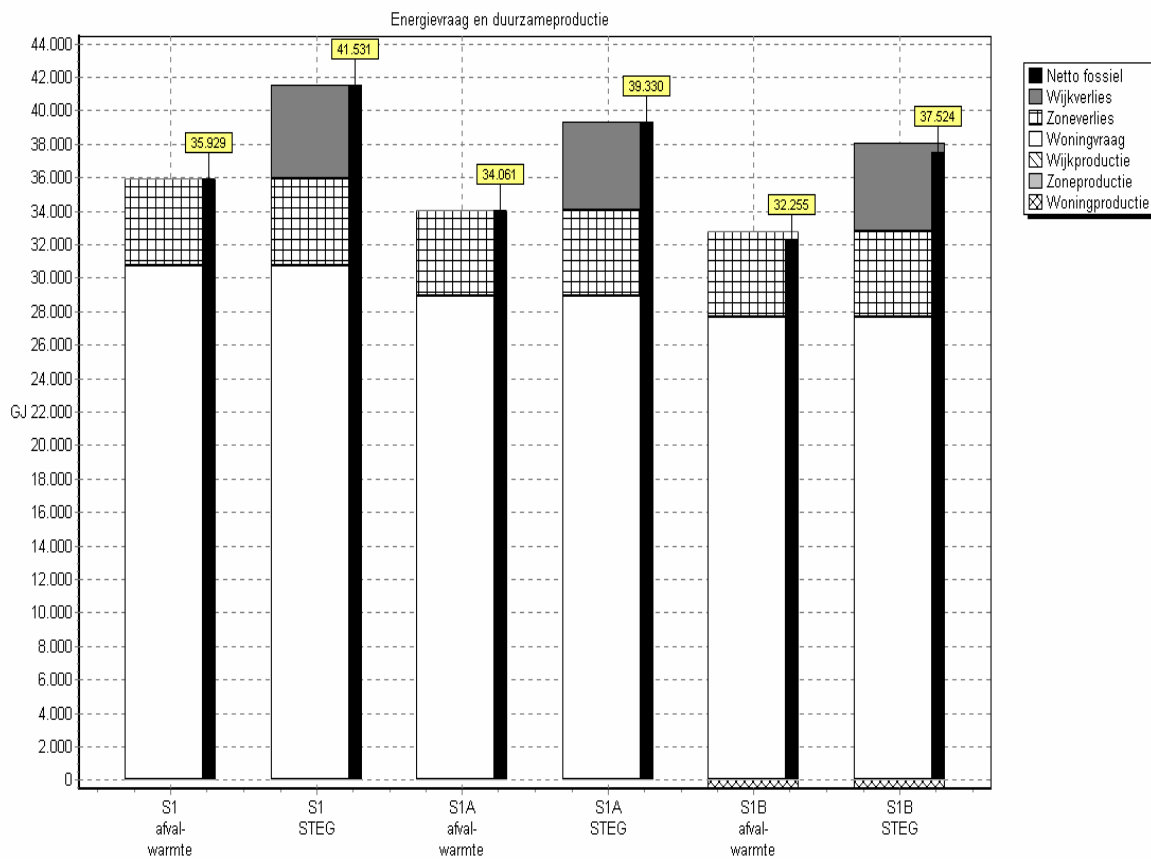
Figuur 1: Overzicht Energievraag en duurzame productie wijkniveau.

Uit de figuur blijkt dat energieconcept Warmtenet & Elektriciteit duidelijk een grotere netto fossiel vraag heeft dan de andere twee concepten. Dit komt met name door de wijkverliezen (energiecentrale) en zoneverliezen (bijvoorbeeld onderstations en leidingnetwerk).

Wat betreft de wijkverliezen maakt het model onderscheid tussen Industriële restwarmte en een STEG-centrale op wijkniveau. Bij Industriële restwarmte wordt geen verlies van de opwek-installatie (wijkverlies) meegenomen in de berekeningen. Het verschil tussen warmtelevering door een STEG-centrale en Industriële restwarmte in het energieconcept Warmtenet & Elektriciteit, is afgebeeld in figuur 2.

Ook indien de wijkverliezen niet worden meegeteld, blijft het netto fossiel gebruik van energieconcept 1 in figuur 1 hoger dan bij de overige concepten.

Verder is er geen sprake van zoneproductie in figuur 1. Het verschil tussen totale woningvraag en netto energievraag is afkomstig van de duurzame productie en energiebesparing in de vorm van PV, zonnecollectoren of gasstopcontacten en hotfill-apparatuur. Ook blijkt dat de energievraag in de uitgangspositie van Elektriciteit & Individuele warmtepomp en variant A van dit concept, kleiner is dan bij energieconcept 2. Uitzondering hierop vormen varianten B en C van energieconcept 2, omdat de zonneboiler een grotere besparing teweeg brengt dan de geïntroduceerde PV-panelen bij variant B van concept Elektriciteit & Individuele warmtepomp.

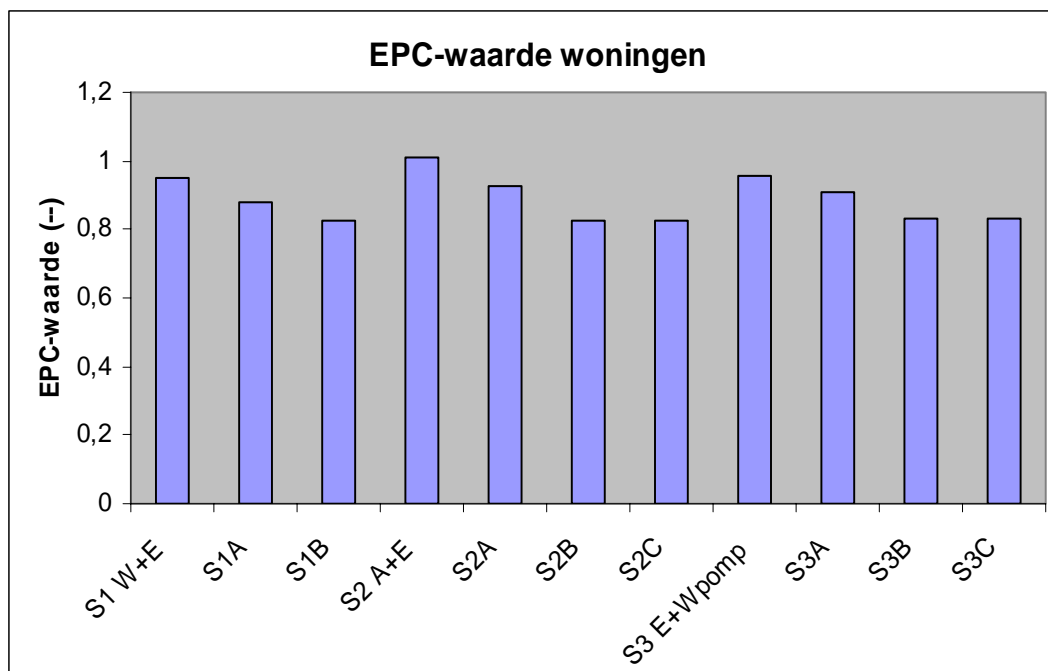


Figuur 2: Verschil warmtelevering op wijkniveau door STEG-centrale en Industriële restwarmte.

3.4.2 Energieprestatie woningen

De energieprestaties van woningen wordt uitgedrukt in de EPC-waarde. Des te lager de EPC, des te duurzamer in (fossiele) energieverbruik. In figuur 3 staan de gemiddelde EPC-waarden van de energieconcepten weergegeven.

Met uitzondering van de uitgangssituatie bij concept Aardgas & Elektriciteit (EPC-waarde 1) ligt de score lager dan 1. Echter indien alle woningen “goed” worden geïsoleerd duikt ook de EPC bij Aardgas & Elektriciteit onder de 1. De beste EPC-waarde wordt behaald bij variant B van Warmtenet & Elektriciteit²² en varianten B en C van Aardgas & Elektriciteit, allen EPC-waarde 0.82. Echter het verschil met varianten B en C van Elektriciteit & Warmtepomp is klein (beide 0.83).



Figuur 3: Overzicht EPC-waarde bij verschillende energieconcepten.

3.4.3 Kosten

In figuur 4 staan de kosten uitgeplitst naar wijk, energiezone en woningen vermeld. De kosten die in het model zijn opgenomen zijn slechts een indicatie van de werkelijke kosten, doordat de prijzen in het model in principe een momentopname zijn. Tevens is geen rekening gehouden met subsidies en beleggingen.

Uit de figuur blijkt dat een conventionele energievoorziening met aardgas en elektriciteit in Terwijde het goedkoopste is. Hoewel het verschil tussen variant C en de huidige situatie met Warmtenet & Elektriciteit €20000,- bedraagt²³.

Overwegend het duurst is het energieconcept Elektriciteit & Individuele warmtepomp. Worden bij het Warmtenet & Elektriciteit concept de hoge kosten met name veroorzaakt door het leidingnet voor warmte, heeft bij concept 3 de warmtepomp een groot aandeel in de investeringskosten.

Het verschil in totale investeringskosten tussen de uitgangssituaties van Warmtenet & Elektriciteit en Elektriciteit & Warmtepomp bedragen ca. €76069,-.

²² In vergelijking met figuur 3.1 lijkt dit resultaat tegenstrijdig. Figuur 3.1 laat juist een hoge fossiele energievraag zien voor energieconcept 1. Echter de EPC-waarde houdt alleen rekening met aspecten op woningniveau, zoals isolatiegraad, verwarmingsapparaat, type ventilatie, ect. In figuur 3.1 zorgen juist de modelonderdelen op zone en wijk niveau ervoor dat het netto fossiel hoger uitkomt dan bij de overige concepten.

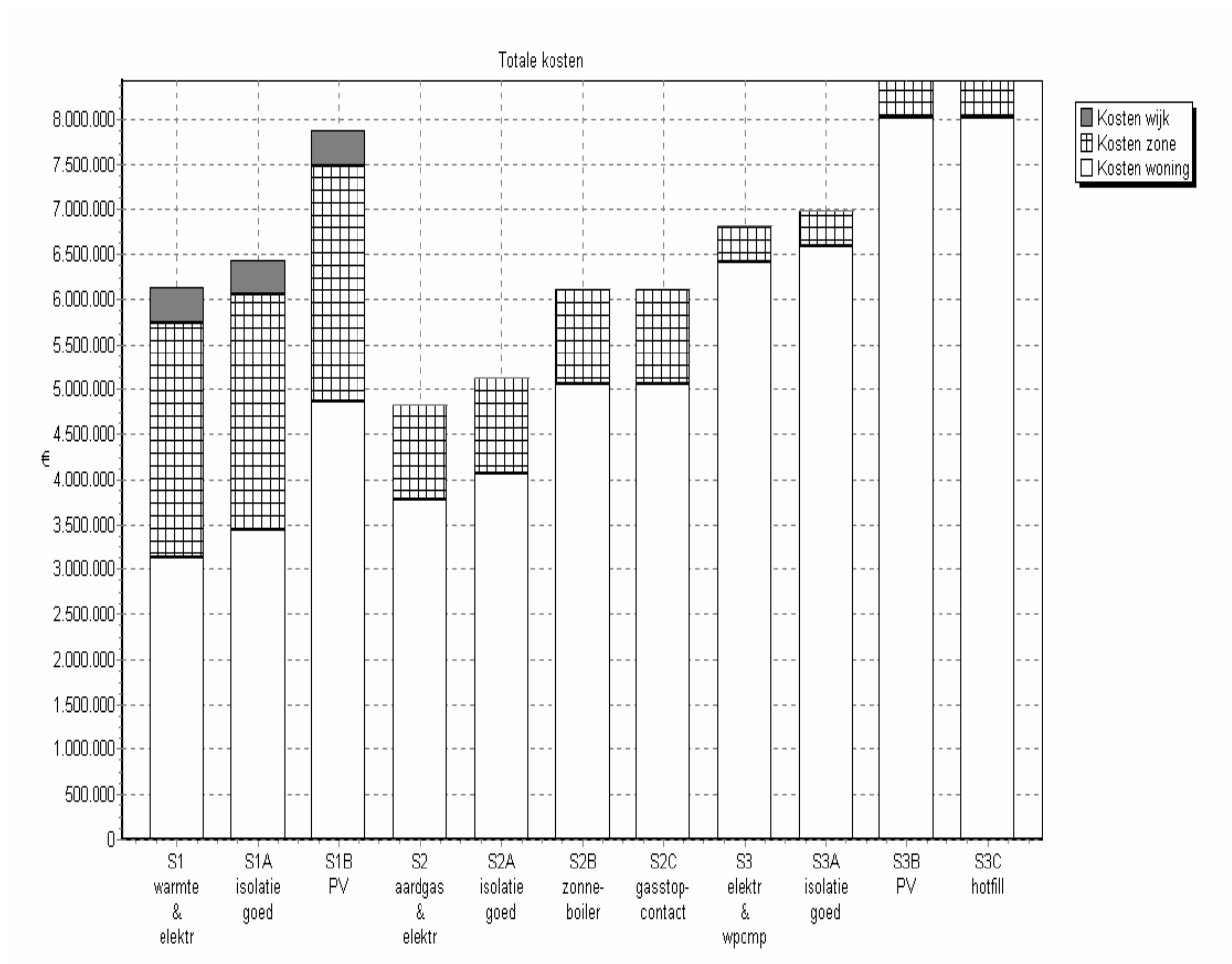
²³ De keuze STEG-centrale of Industriële restwarmte maakt in het model geen verschil in de investeringskosten.

Wordt variant B (allebei alle woningen “goed” geïsoleerd en PV-panelen) van beide concepten vergeleken, dan blijkt het verschil in investeringskosten gekrompen tot €48448,-.

Omdat de meerinvestering in PV-panelen in beide gevallen evengroot is, wordt het kleinere verschil veroorzaakt door de betere isolatie en de gevolgen hiervan op de warmtebehoefte van de woningen.

Het effect van beter isoleren heeft in dit geval een gunstiger effect bij concept 3 dan 1. Er is namelijk een kleiner vermogen nodig om de woning warm te stoken en dus ook een kleinere warmtepomp vermogen. Aangezien de prijs van een warmtepomp gekoppeld is aan het vermogen van een warmtepomp, worden de investeringskosten ook lager.

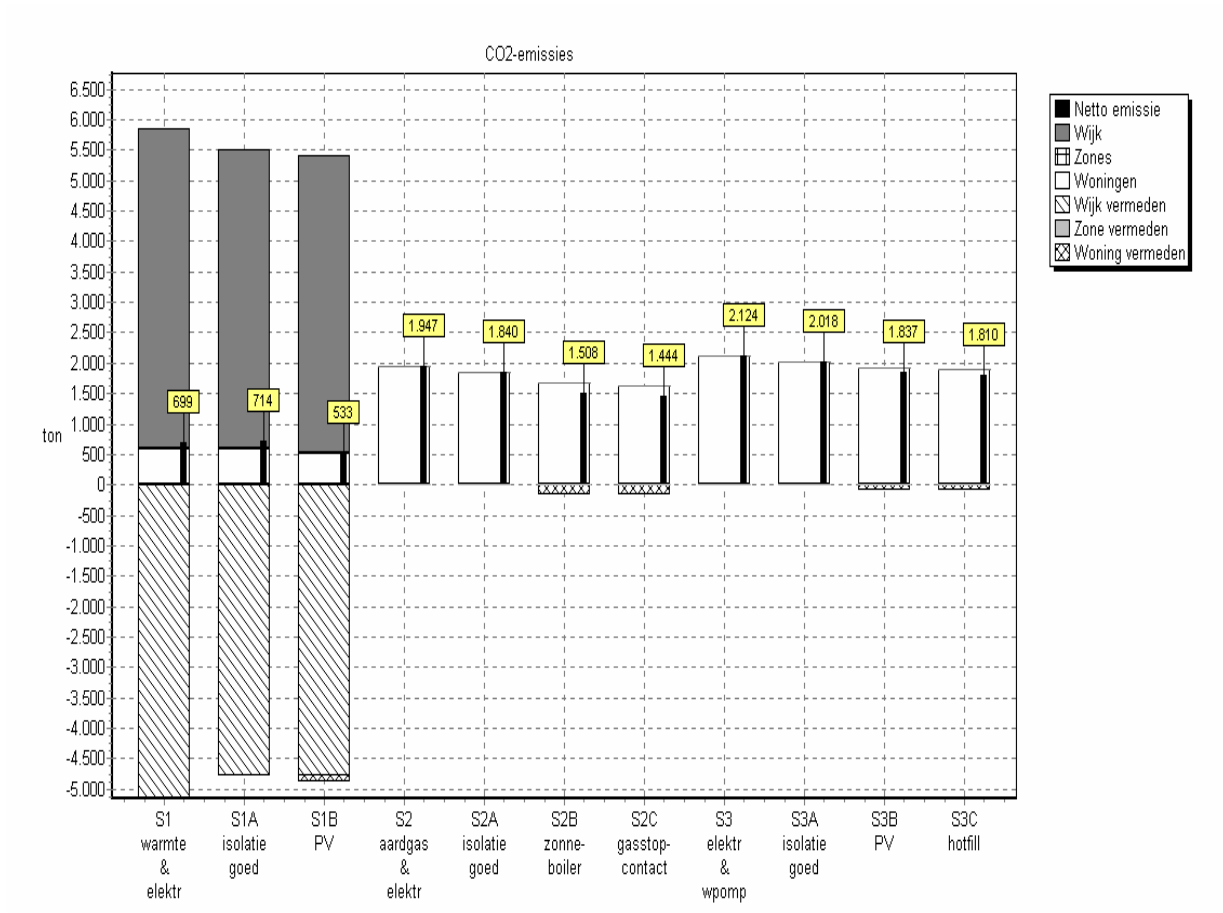
Dit effect is niet aanwezig in het energieconcept Warmtenet & Elektriciteit, omdat daar geen (bij-)verwarmingsinstallatie in de woning aanwezig is.



Figuur 4: Overzicht totale kosten per energieconcept.

3.4.4 Emissie CO₂

In figuur 5 staan de emissies van de verschillende energieconcepten weergegeven. Van vermeden CO₂ emissie is sprake bij inzet van duurzame energie, het gebruik van afvalwarmte en de gecombineerde opwek van warmte en elektriciteit. Bij deze laatste (gecombineerde opwek) wordt de vermeden CO₂ emissie bepaald ten opzichte van een referentiewaarde voor de productie van warmwater (Hr-ketel) en voor de opwekking van elektriciteit in een Nederlands productiepark. Dit is het geval in energieconcept Warmtenet & Elektriciteit. Hierdoor is er bij concept 1 sprake van minder netto CO₂ uitstoot in vergelijking met de overige energieconcepten. Wanneer van restwarmte wordt uitgegaan is er alleen sprake van vermeden emissies.



Figuur 5: Overzicht CO₂ emissie verschillende energieconcepten.

3.5 Conclusie

Op basis van het voorgaande kan worden geconcludeerd dat het energieconcept Warmtenet & Elektriciteit in Terwijde, onder de gestelde aannames, een grotere netto primaire energievraag heeft dan het concept Aardgas & Elektriciteit en Elektriciteit & Individuele warmtepomp op dezelfde lokatie.

Echter dit wordt met name veroorzaakt door de Wijk en Zoneverliezen. Als van Industriële restwarmte wordt uitgegaan i.p.v. STEG-centrale daalt de energievraag doordat er geen sprake meer is van wijkverliezen. Echter netto blijft de vraag groter dan bij de overige energieconcepten.

Wordt alleen naar de totale energievraag van de woningen gekeken, dan is juist het concept Warmtenet & Elektriciteit gunstiger dan de andere twee concepten. Dit is ook zichtbaar in de gemiddelde EPC-waarden van de woningen. De waarden bij uitgangsposities van Warmtenet & Elektriciteit, Aardgas & Elektriciteit en Elektriciteit & Individuele warmtepomp, zijn respectievelijk 0.95, 1.01 en 0.96.

De totale investeringskosten van een conventionele energievoorziening zijn goedkoper dan bij de andere twee concepten. Bij Warmtenet & Elektriciteit brengt met name het warmtenet hoge kosten met zich mee. En de individuele warmtepomp bij energieconcept 3 heeft daar een groot aandeel in de investeringskosten.

Wat betreft emissies komt Warmtenet & Elektriciteit als zeer gunstig uit de analyse te voorschijn. Bij keuze voor Industriële restwarmte i.p.v. een STEG-centrale nemen de vermeden emissies toe.

Collectief warmteopwek of restwarmte ten behoeve ruimteverwarming en tapwater levert (in dit geval) netto minder CO₂ emissie op, dan individuele warmteopwek met een huisinstallatie (Hr-combiketel of warmtepomp) op basis van aardgas en of elektriciteit.

3.6 Discussie

Er zijn verschillende discussiepunten aan te voeren die de modelresultaten zouden kunnen beïnvloeden. Hieronder zullen het oppervlak van het plangebied, woningoriëntatie, gebruiksoppervlak van de woningen en STEG-centrale versus Industriële restwarmte worden besproken.

3.6.1 *Oppervlak plangebied*

Het oppervlak van het plangebied is bepaald m.b.v. een (digitale)kaart van Terwijde. Aangezien Terwijde een waterrijk gebied betreft en de woningen zich op “eilanden” bevinden, is ook het oppervlaktewater tussen eilanden 11, 3 en 2, 10, 15A meegenomen. De eilanden worden door een lange laan met elkaar verbonden. Het genoemde waterdeel komt overeen met 4 -5% van het totaal geanalyseerde oppervlak.

Echter, aangezien onbekend is hoe het leidingnet precies wordt uitgelegd en waar eventueel onderstations moeten komen te staan, is het te rechtvaardigen om het waterdeel mee te nemen in de analyse. Een onderverdeling in meerdere energiezones zou geen optie zijn, omdat dan het model per energiezone sowieso minimaal 1 onderstation berekend, met bijbehorende primair en secundair netwerk. Hierdoor zouden de kosten voor het hele plangebied (sommatie van energiezones) worden overschat en de energieverliezen hoger liggen dan nu het geval is.

Van Scherf 15A zijn niet alle voorkomende woningen meegenomen, terwijl wel gerekend is met het totale oppervlak van het eiland. De 113 woningen (Kade en Groenehof woningen) staan namelijk verspreid over het eiland. Van de overige 110 woningen waren geen gegevens voorhanden.

Indien alleen de percelen en straten met woningen zouden zijn meegenomen, dan zou met ca. 25-35% minder oppervlak voor scherf 15A gerekend kunnen worden. Dit komt neer op ruim 5% van het totaal geanalyseerde oppervlak.

Aan de beginfase van een woningbouwproject wordt bij het uitleggen van de energie-infrastructuur over het algemeen rekening gehouden met eventuele uitbreidingen in het plangebied. Immers alle woningen worden niet allemaal tegelijk gebouwd en opgeleverd. Dit heeft tot gevolg dat in principe in het begin sprake is van overdimensionering en bijvoorbeeld de leidingverliezen in het warmtenet hoger zijn dan bij een uitgebouwde woonwijk. Op basis van de beschikbare informatie is dat ook het geval in Terwijde.

Wanneer het waterdeel buiten beschouwen wordt gelaten en van Scherf 15A alleen de straten met woningen uit de verkoopdocumentatie worden meegenomen, zullen de leidingverliezen met 7-8% afnemen en de investeringskosten met 3-4% dalen. De woningdichtheid zou bij 10% verkleinen van het plangebied en gelijk aantal woningen, toenemen van 22.3/ha naar 24.8/ha.

3.6.2 *Lengte Transportleiding Warmte*

Om de lengte van de transportleiding van warmte te bepalen is rechtstreeks een lijn getrokken van de UNA-elektriciteitscentrale aan de Atoomweg 7-9 op industrieterrein Lage Weide tot aan het plangebied Terwijde. Op basis hiervan is de aanname gemaakt dat de lengte van de transportleiding 1000 – 1500 meter bedraagt, omdat niet bekend is waar precies de transportleiding het plangebied binnenkomt. Vervolgens is het gemiddelde genomen (1250m).

3.6.3 *Oriëntatie woningen*

De oriëntatie van de woningen heeft invloed op de zoninstraling en daarmee warmtewinst c.q. verliezen. De oriëntaties zijn bepaald op basis van de informatie in de verkoopdocumentatie. Hierin zijn plattegronden en beschrijvingen van de woningen opgenomen. De nauwkeurigheid van de verkoopdocumentatie speelt een grote rol voor welke oriëntatie wordt gekozen. In het model kunnen de woningen met stappen worden gedraaid (bijvoorbeeld van oost naar zuid-oost). Er is getracht zo goed mogelijk op basis van de beschikbare informatie een oriëntatie te kiezen. De verwachting is dat eventuele afwijking in de gekozen oriëntatie van een aantal woningen, worden uitgemiddeld over het totaal aantal geanalyseerde woningen en dat er geen noemenswaardige invloed is op de (vergelijkende) analyse op wijk niveau.

3.6.4 *Gebruiksoppervlak woningen*

Ook het gebruiksoppervlak van de woningen is bepaald m.b.v. de verkoopdocumentatie. Een groot deel van de modelparameters en energetische aspecten van de woning zijn gekoppeld aan het gebruiksoppervlak (A_g) van de woning. Voorbeelden hiervan zijn de opschaling van de woning en daarmee het verliesoppervlak, kosten isolatie, ventilatie, etc.. Berekening op woningniveau in het model zijn veelal gebaseerd op NEN5128 en de hierin genoemde definitie (en afbakening) van wat tot het gebruiksoppervlak van een woning mag worden gerekend. In de analyse van Terwijde is van de definiëring in NEN5128 uitgegaan bij het vaststellen van het gebruiksoppervlak van de woningen.

3.6.5 *STEG-centrale versus Industriële restwarmte*

Zoals is gebleken uit paragraaf 3.4 maakt het model onderscheid in warmte afkomstig van een STEG-centrale en Industrie. Beide verschillen op energetische en emissie aspecten. De Industriële afvalwarmte is in beide opzichten gunstiger dan de STEG-centrale. In de analyses is in eerste instantie gekozen voor de STEG-centrale, maar voor het onderlinge vergelijk met de andere energieconcepten maakt het geen verschil.

Zowel Warmtenet & Elektriciteit met STEG-centrale als Industriële afvalwarmte hebben een hogere fossiele energievraag dan Aardgas & Elektriciteit en Elektriciteit en Individuele warmtepomp. Ook qua kosten blijven de verschillen met de andere energieconcepten hetzelfde, omdat beide gebruik maken van een warmtenet.

Beide zijn qua emissie van CO₂ gunstiger dan Aardgas & Elektriciteit en Elektriciteit & Individuele warmtepomp.

Referenties

Nederlands Normalisatie-instituut (1998), *NEN 5128: 1998 (Energieprestatie van woningen en woongebouwen-bepalingsmethode)*. Nederlands Normalisatie-instituut.

www.novem.nl

www.novem.nl/oei

Bijlage A

Overzicht EPL 2000 en 2001 – Ambitie (bron: www.novem.nl)

Toelichting tabel: EPC= Energieprestatiecoëfficiënt; EPL = Energieprestatie op locatie; E+G = Gas/Elektra; E = “All Elektrisch”, W = warmtebron

EPL 2001-Ambitie

gemeente	(deel)locatie	EPC	EPL	Aant. woningen	Start bouw	realisatie	Type energievoorziening en bijzonderheden
Tilburg	Warande Bosstrook	-	6.8	630	>2010	-	W+E (individuele warmtepomp)
Den Haag	Spoorwijk (fase 1, 2 en 3)	0.80	7.3	750	2002	2007	All E (individuele warmtepomp in combinatie met centrale zonnecollectoren)
Tilburg	Warande Zwaluwenbunders	-	6.8	790	>2010	-	W+E (wk gasmotor)
Almere	Overgooi	0.85	6.5	930	2002	2012	G+E
Zutphen	Leesten-Oost	0.70	7.0	1163	2002	2010	G+E+W (warmte-installatie nog onbekend)
Tilburg	Warande Spoorzone	-	6.8	1360	>2010	-	W+E (wk gasmotor)
Tilburg	Overhoeken	0.80	6.7	1569	>2003	-	G+E / misschien PV
Apeldoorn	Zuidbroek	0.80	9.9	2250	>2001	-	W+E: wk-gasmotor / collectieve wp / biogas=100% duurzaam / elektriciteit uit biogas
Harderwijk	Drielanden Zuid- en -West	0.80	7.0	2700	2003	2015	nog in onderzoek
Breda	Teteringen: Overig	-0.1 verplicht	7.0	3000	2002	2006	nog onbekend
Hoorn	Bangert en Oosterpolder	1.00	6.8	3286	2002	2010	Wordt nog over onderhandeld
s-Hertogenbosch	De Groote Wielen	1.00	7.0	4200	2002	2012	nog onbekend
Leeuwarden	Leeuwarden Zuid	0.75	8.0	6000	nog onbekend	nog onbekend	een windmolenpark is waarschijnlijk onderdeel
Arnhem	Schuytgraaf (Driel Oost)	0.80	7.1	6500	2000	-	nog in studie
Zoetermeer	Oosterheem	1.00	7.2	8500	2000	2007	W+E / (installatie onbekend)
Almere	Poort	0.80	8.0	10000	2003	nog onbekend	middels nieuwe BAEI-procedure opgestart
Lelystad	Lelystad-Zuid	0.90	7.5	10000	2003	2015	wordt nader bepaald / voorkeur voor warmte uit biomassa of mini-wkk

EPL 2000-Ambitie

Gemeente	(deel)locatie	EPL	EPC	Aant. woningen	Start bouw	realisatie	Type energievoorziening en bijzonderheden
Etten-Leur	Schoenmakershoek 1	10	< 0.75	> 400	> 2004		nog in studie
Apeldoorn	Groot-Zonnehoeve	9.9	0.80	425	2002		W+E: wk-gasmotor / collectieve wp / biogas=100% duurzaam / elektriciteit uit biogas
Apeldoorn	Zuidbroek	9.9	0.80	2250	> 2000		W+E: wk-gasmotor / collectieve wp / biogas=100% duurzaam / elektriciteit uit biogas
Almere	Poort	8.0	0.80	10000	2003	is ambitie	nog niet bekend
Barendrecht	Carnisselande	7.6	1.04	7600	2001	EPC 90%; aardwarmte 60%	W+E: aardwarmte; 40 woningen met PV
Lelystad	Lelystad-Zuid	7.5	< 0.9	10000	2003	is ambitie	wordt nader bepaald, voorkeur voor warmte uit biomassa of mini-wkk
Tiel	Passewaay, buurt 7	7.2	0.80	450	2002	< 75%	waarschijnlijk W+E
Voorschoten	Van de Hoevenpark	> 7.0	0.80	182	2002		nog niet bekend
Breda	Nieuw Wolfslaar	7.0	0.75	750	2001		nog niet bekend
Breda	Teteringen	7.0	0.1 onder epn	3000	2001	EPC:75%, EPL?	nog niet bekend
Breda	Om de Haenen	7.0	0.90	400	2001		nog onbekend: W+E met indiv. wp of G+E met coll. wp
Dordrecht	Dordtse Kil III	7.0	?		2000		nog niet bekend; bedrijventerrein
Eindhoven	Tongelre ZO	7.0	1.00	1100	2002		nog in studie; toepassing van wk-installatie op biogas en PV wordt onderzocht
Emmen	Delflanden	7.0	0.90	3500	2001	50%	G+E
Harderwijk	Drielanden Zuid- en -West	7.0	< 0.8	2700	2003	< 75%	nog niet bekend
Harderwijk	Stadsdennen-Oost	7.0	< 0.8	350	2002	< 75%	nog niet bekend
Tilburg	Warande Bosstrook	6.8		630	> 2010		E met individuele wp
Tilburg	Warande Spoorzone	6.8		1360	> 2010		W+E: wk-gasmotor
Tilburg	Warande Zwaluwenbunders	6.8		790	> 2010		W+E: wk-gasmotor
Tilburg	Overhoeken	6.7	0.80	1569	> 2003		G+E; misschien met PV
Langedijk	St. Pancras-Oost	6.6	1.00	400	2003	50%	warmtelevering met collectieve warmtepomp is in onderzoek
Almere	Overgooi	6.5	0.85	880	2002	niet bekend	G+E
Beverwijk / Heemskerk	Broekpolder fase 2	6.5	0.85	2640	> 2000		meeste G+E; 100 woningen alleen E (indiv. wp met collectieve warmtebron)
Hendrik-Ido-Ambacht	Volgerlanden	6.4		4500	2000	is ambitie	nog niet bekend; warmtelevering is afgefallen als optie

Criterium 1: Aantal woningen in project ≥ 500

EPL 2001-Ambitie

gemeente	(deel)locatie	EPC	EPL	Aant. woningen	Start bouw	realisatie	Type energievoorziening en bijzonderheden
Tilburg	Warande Bosstrook	-	6.8	630	>2010	-	W+E (individuele warmtepomp)
Den Haag	Spoorwijk (fase 1, 2 en 3)	0.80	7.3	750	2002	2007	All E (individuele warmtepomp in combinatie met centrale zonnecollectoren)
Tilburg	Warande Zwaluwenbunders	-	6.8	790	>2010	-	W+E (wk gasmotor)
Almere	Overgooi	0.85	6.5	930	2002	2012	G+E
Zutphen	Leesten-Oost	0.70	7.0	1163	2002	2010	G+E+W (warmte-installatie nog onbekend)
Tilburg	Warande Spoorzone	-	6.8	1360	>2010	-	W+E (wk gasmotor)
Tilburg	Overhoeken	0.80	6.7	1569	>2003	-	G+E / misschien PV
Apeldoorn	Zuidbroek	0.80	9.9	2250	>2001	-	W+E: wk-gasmotor / collectieve wp / biogas=100% duurzaam / elektriciteit uit biogas
Harderwijk	Drielanden Zuid-West	0.80	7.0	2700	2003	2015	nog in onderzoek
Breda	Teteringen: Overig	-0.1 verplicht	7.0	3000	2002	2006	nog onbekend
Hoorn	Bangert en Oosterpolder	1.00	6.8	3286	2002	2010	Wordt nog over onderhandeld
s-Hertogenbosch	De Grooten Wielen	1.00	7.0	4200	2002	2012	nog onbekend
Leeuwarden	Leeuwarden Zuid	0.75	8.0	6000	nog onbekend	nog onbekend	een windmolenpark is waarschijnlijk onderdeel
Arnhem	Schuytgraaf (Driel Oost)	0.80	7.1	6500	2000	-	nog in studie
Zoetermeer	Oosterheem	1.00	7.2	8500	2000	2007	W+E / (installatie onbekend)
Almere	Poort	0.80	8.0	10000	2003	nog onbekend	middels nieuwe BAEI-procedure opgestart
Lelystad	Lelystad-Zuid	0.90	7.5	10000	2003	2015	wordt nader bepaald / voorkeur voor warmte uit biomassa of mini-wkk
Utrecht	Leidsche Rijn	≤ 1	≥ 7	20000	2002	--	onbekend
Groningen	Meerstad	≤ 1	≥ 7	8000	>2006		onbekend

EPL 2000-Ambitie

Gemeente	(deel)locatie	EPL	EPC	Aant. woningen	Start bouw	realisatie	Type energievoorziening en bijzonderheden
Etten-Leur	Schoenmakershoek 1	10	< 0.75	> 400	> 2004		nog in studie
Barendrecht	Carnisselande	7.6	1.04	7600	2001	EPC 90%; aardwarme 60%	W+E: aardwarmte; 40 woningen met PV
Breda	Nieuw Wolfslaar	7.0	0.75	750	2001		nog niet bekend
Eindhoven	Tongelre ZO	7.0	1.00	1100	2002		nog in studie; toepassing van wk-installatie op biogas en PV wordt onderzocht
Emmen	Delftlanden	7.0	0.90	3500	2001	50%	G+E
Beverwijk / Heemskerk	Broekpolder fase 2	6.5	0.85	2640	> 2000		meeste G+E; 100 woningen alleen E (indiv. wp met collectieve warmtebron)
Hendrik-Ido-Ambacht	Volgerlanden	6.4		4500	2000	is ambitie	nog niet bekend; warmtelevering is afgefallen als optie

Criterion 2: EPL \geq 7.0 en EPC-waarde \leq 1.00

EPL 2001-Ambitie

gemeente	(deel)locatie	EPC	EPL	Aant. woningen	Start bouw	realisatie	Type energievoorziening en bijzonderheden
Den Haag	Spoorwijk (fase 1, 2 en 3)	0.80	7.3	750	2002	2007	All E (individuele warmtepomp in combinatie met centrale zonnecollectoren)
Zutphen	Leesten-Oost	0.70	7.0	1163	2002	2010	G+E+W (warmte-installatie nog onbekend)
Apeldoorn	Zuidbroek	0.80	9.9	2250	>2001	-	W+E: wk-gasmotor / collectieve wp / biogas=100% duurzaam / elektriciteit uit biogas
Harderwijk	Drielanden Zuid- en -West	0.80	7.0	2700	2003	2015	nog in onderzoek
Breda	Teteringen: Overig	-0.1 verplicht	7.0	3000	2002	2006	nog onbekend
s-Hertogenbosch	De Groote Wielen	1.00	7.0	4200	2002	2012	nog onbekend
Leeuwarden	Leeuwarden Zuid	0.75	8.0	6000	nog onbekend	nog onbekend	een windmolenpark is waarschijnlijk onderdeel
Arnhem	Schuytgraaf (Driel Oost)	0.80	7.1	6500	2000	-	nog in studie
Zoetermeer	Oosterheem	1.00	7.2	8500	2000	2007	W+E / (installatie onbekend)
Almere	Poort	0.80	8.0	10000	2003	nog onbekend	middels nieuwe BAEI-procedure opgestart
Lelystad	Lelystad-Zuid	0.90	7.5	10000	2003	2015	wordt nader bepaald / voorkeur voor warmte uit biomassa of mini-wkk
Utrecht	Leidsche Rijn	\leq 1	\geq 7	20000	2002	--	onbekend
Groningen	Meerstad	\leq 1	\geq 7	8000	>2006		onbekend

EPL 2000-Ambitie

Gemeente	(deel)locatie	EPL	EPC	Aant. woningen	Start bouw	realisatie	Type energievoorziening en bijzonderheden
Etten-Leur	Schoenmakershoek 1	10	< 0.75	> 400	> 2004		nog in studie
Breda	Nieuw Wolfslaar	7.0	0.75	750	2001		nog niet bekend
Eindhoven	Tongelre ZO	7.0	1.00	1100	2002		nog in studie; toepassing van wk-installatie op biogas en PV wordt onderzocht
Emmen	Delftlanden	7.0	0.90	3500	2001	50%	G+E

Criterion 3: Geplande start project tweede helft 2002 of later

EPL 2001-Ambitie

gemeente	(deel)locatie	EPC	EPL	Aant. woningen	Start bouw	realisatie	Type energievoorziening en bijzonderheden
Den Haag	Spoorwijk (fase 1, 2 en 3)	0.80	7.3	750	2002	2007	All E (individuele warmtepomp in combinatie met centrale zonnecollectoren)
Zutphen	Leesten-Oost	0.70	7.0	1163	2002	2010	G+E+W (warmte-installatie nog onbekend)
Apeldoorn	Zuidbroek	0.80	9.9	2250	>2001	-	W+E: wk-gasmotor / collectieve wp / biogas=100% duurzaam / elektriciteit uit biogas
Harderwijk	Drielanden Zuid-West	0.80	7.0	2700	2003	2015	nog in onderzoek
Breda	Teteringen: Overig	-0.1 verplicht	7.0	3000	2002	2006	nog onbekend
s-Hertogenbosch	De Grooten Wielen	1.00	7.0	4200	2002	2012	nog onbekend
Leeuwarden	Leeuwarden Zuid	0.75	8.0	6000	nog onbekend	nog onbekend	een windmolenpark is waarschijnlijk onderdeel
Almere	Poort	0.80	8.0	10000	2003	nog onbekend	middels nieuwe BAEI-procedure opgestart
Lelystad	Lelystad-Zuid	0.90	7.5	10000	2003	2015	wordt nader bepaald / voorkeur voor warmte uit biomassa of mini-wkk
Utrecht	Leidsche Rijn	≤ 1	≥ 7	20000	2002	--	onbekend
Groningen	Meerstad	≤ 1	≥ 7	8000	>2006		onbekend

EPL 2000-Ambitie

Gemeente	(deel)locatie	EPL	EPC	Aant. woningen	Start bouw	realisatie	Type energievoorziening en bijzonderheden
Etten-Leur	Schoenmakershoek 1	10	< 0.75	> 400	> 2004		nog in studie
Eindhoven	Tongelre ZO	7.0	1.00	1100	2002		nog in studie; toepassing van wk-installatie op biogas en PV wordt onderzocht

Criterium 4: medewerking (op basis van vorige case)

EPL 2001-Ambitie

gemeente	(deel)locatie	EPC	EPL	Aant. woningen	Start bouw	realisatie	Type energievoorziening en bijzonderheden
Den Haag	Spoorwijk (fase 1, 2 en 3)	0.80	7.3	750	2002	2007	All E (individuele warmtepomp in combinatie met centrale zonnecollectoren)
Zutphen	Leesten-Oost	0.70	7.0	1163	2002	2010	G+E+W (warmte-installatie nog onbekend)
Apeldoorn	Zuidbroek	0.80	9.9	2250	>2001	-	W+E: wk-gasmotor / collectieve wp / biogas=100% duurzaam / elektriciteit uit biogas
Harderwijk	Drielanden Zuid-West	0.80	7.0	2700	2003	2015	nog in onderzoek
Breda	Teteringen: Overig	-0.1 verplicht	7.0	3000	2002	2006	nog onbekend
s-Hertogenbosch	De Groote Wielen	1.00	7.0	4200	2002	2012	nog onbekend
Leeuwarden	Leeuwarden Zuid	0.75	8.0	6000	nog onbekend	nog onbekend	een windmolenpark is waarschijnlijk onderdeel
Almere	Poort	0.80	8.0	10000	2003	nog onbekend	middels nieuwe BAEI-procedure opgestart
Lelystad	Lelystad-Zuid	0.90	7.5	10000	2003	2015	wordt nader bepaald / voorkeur voor warmte uit biomassa of mini-wkk
Utrecht	Leidsche Rijn	≤ 1	≥ 7	20000	2002	--	onbekend
Groningen	Meerstad	≤ 1	≥ 7	8000	>2006	--	onbekend

EPL 2000-Ambitie

Gemeente	(deel)locatie	EPL	EPC	Aant. woningen	Start bouw	realisatie	Type energievoorziening en bijzonderheden
Etten-Leur	Schoenmakershoek 1	10	< 0.75	> 400	> 2004		nog in studie
Eindhoven	Tongelre ZO	7.0	1.00	1100	2002	--	nog in studie; toepassing van wk-installatie op biogas en PV wordt onderzocht

Deel V: Modelhandleiding en achtergrond

1 Inleiding

In dit deel c.q. handleiding wordt een beschrijving gegeven van het ontwikkelde computermodel MERLiN (Modelling Energy Resources Limitation in Neighborhoods) waarmee het energievoorzieningsstelsel voor een wijk kwantitatief benaderd wordt. In dit model worden huidige en toekomstige ontwikkelingen en de diverse actoren uit verschillende schaalniveaus en hun mogelijk interactie op het schaalniveau van onderzoek: de wijk gekwantificeerd.

Onder schaalniveau verstaan we in de context van dit onderzoek een geografisch/bestuurlijke eenheid waarbinnen beslissingen genomen worden.

De oorspronkelijk beschouwde schaalniveaus zijn:

- Internationaal
- Nationaal
- Lokaal (de wijk)
- Woning

Uit praktische overwegingen is echter gekozen voor een iets andere indeling:

- Internationaal/Nationaal
- Lokaal (de wijk)
- Energiezone
- Woning

Deze indeling doet beter recht aan de technische schaalniveaus die voor de energievoorzieningsstelsel in een wijk relevant zijn.

Hoe deze schaalniveaus in de ‘interface’ van het model verwerkt zijn staat beschreven in hoofdstuk 5. Maar eerst worden de gemaakte keuzes en berekeningen die in het model worden gemaakt, beschreven in hoofdstuk 3 en 4. De evaluatie van het model als beleidsondersteunend instrument staat beschreven in hoofdstuk 2.

2 Evaluatie

In dit hoofdstuk wordt op vier manieren terug en vooruit gekeken naar de resultaten en de mogelijkheden die dit model te bieden heeft.

Op de eerste plaats is het belangrijk om het directe resultaat van dit onderzoek: het model wat in de hier na volgende hoofdstukken wordt beschreven naast de verwachtingen te leggen die eerder in deze rapportage beschreven zijn in de deel I en II. Op de tweede plaats wordt gekeken wat de onderzekerheid van de invoergegevens voor gevolgen heeft op de resultaten.

Op de derde plaats is het belangrijk hoe het model MERLiN in de praktijk werkt.

Op de vierde plaats zal gekeken worden hoe het gebruik van dit model vormgegeven kan worden en wat er eventueel nog aan het model kan worden verbeterd.

2.1 Terugkoppeling naar de eisen

In deel III: Modelbeschrijving Paragraaf 3.2 t/m 3.4 wordt beschreven welke variabelen en relaties op het nationaal, lokaal en woning niveau in het model zouden moeten worden geïmplementeerd. Tijdens de werkelijke implementatie bleek dat enkele variabelen moeilijk te implementeren waren en andere wenselijke niet genoemd waren. In onderstaande paragraaf 2.1.1 wordt beschreven wat de afwijkingen zijn tussen het uiteindelijke model en de modelbeschrijving.

2.1.1 *Vergelijking*

De vergelijking tussen de geplande modelimplementatie en het daadwerkelijke model wordt per schaalniveau beschreven. Een van de belangrijkste veranderingen in het model ten opzichte van de uitkomsten van de systeemanalyse is de aanpassing van de schaalniveaus. Bij nadere beschouwing (reeds tijdens de modelimplementatie) bleek het wenselijk om een schaalniveau in te voegen tussen wijk en woning. Dit intermediaire niveau hebben we in het model energiezone genoemd. Deze toevoeging doet beter recht aan de technische schaalniveaus die voor de energievoorzieningsysteem in een wijk relevant zijn. Een energiezone is nu gedefinieerd als een deel van een wijk dat zich kenmerkt door één of meerdere, het huishoudniveau overschrijdende energie-infrastructuuropties. Dit kan bijvoorbeeld een gebouwgebonden warmtekrachtinstallatie zijn of een warmte-opslagsysteem waar een groep van huizen op aangesloten is. Een energiezone is maximaal even groot als de wijk en bevat minimaal één huis.

Tabel 1: Vergelijking geplande en daadwerkelijke modelimplementatie van het nationale schaalniveau.

EPN	Er is gewerkt met vanuit de documenten van het Nederlands Normalisatie-instituut: NEN 5128 en NRP 5129. Met behulp van deze praktijkrichtlijnen kan de EPC van een woning worden bepaald.
Subsidies	Bij nader inzien is besloten om subsidies binnen het model buiten beschouwing te laten. De reden hiervoor is dat subsidies op de eerste plaats sterk aan verandering onderhevig zijn en op lokaal niveau sterk kunnen verschillen. De kostenberekeningen beperken zich dus tot de daadwerkelijke kosten.
Wkk	Naast Wkk is ook een mogelijkheid in de database

	opgenomen om gebruik te maken van afvalwarmte. Dit heeft een gunstig effect op het gebruik van fossiele brandstoffen.
Belastingstelsel	Belastingen en CO ₂ tax, zijn niet impliciet in het model opgenomen doch kunnen door het aanpassen van de kosten van de diverse energiedragers in de database toch worden meegenomen.
Duurzame energie	Er zijn diverse mogelijkheden voor duurzame energie opgenomen in het model: Wind en PV op wijk niveau, zonnecollectoren op energiezonenniveau en PV en zonnecollectoren op woningniveau.

Zoals hierboven beschreven kan een wijk worden opgedeeld in meerdere energiezones. Om direct aan te sluiten bij de tabellen in deel III hebben we er hier voor gekozen om dit extra niveau niet als een aparte tabel op te nemen. Bij ieder item staat op welk niveau de keuze gemaakt moet worden.

Tabel 2: Vergelijking geplande en daadwerkelijke modelimplementatie van het wijk- en energiezonenniveau.

Aardwarmte, warmte en koude-opslag, warmtepompen	Bij gebrek aan NEN richtlijnen en daar het gebruik van aardwarmte voor Nederland nog in de kinderschoenen staat in het in deze versie nog weggelaten. Warmtepompen al dan niet gecombineerd met warmteopslag is zijn wel opgenomen in het model. Koudeopslag is niet opgenomen. Ook koudeopslag komt niet voor in de NEN richtlijnen en is voor woningen een niet erg voor de handliggende optie.
Klimatologische omstandigheden	De klimatologische omstandigheden werken door op de opbrengst van wind- en zonne-energie en op de warmtebehoefte. Wordt er in het model voor weerstation 'De Bild' gekozen dan zijn de omstandigheden gelijk aan die in de NEN richtlijnen zijn opgenomen.
Zongerichte oriëntatie	De oriëntatie moet op woningtype niveau worden vastgelegd.
Bebouwingsdichtheid	Per energiezone moet het totale oppervlak van die zone worden opgegeven. Het model rekent op zoneniveau de lengte van de benodigde infrastructuur uit.
Collectieve verwarmingssystemen	Het is mogelijk om een collectieve installatie op wijk of op energiezonenniveau te kiezen en niet alleen op zoneniveau zoals was gepland. Collectieve installaties op zoneniveau worden altijd gebouwd in en voor de betreffende zone. De installatie op wijkniveau kunnen meerdere wijken van warmte voorzien of toevallig in de buurt staan. Bij de installatie op wijk niveau moet expliciet de afstand tot de wijk worden opgegeven.
infrastructuur	De infrastructuur wordt in principe vastgelegd op wijkniveau doch kan hiervan indien gewenst worden afgeweken op energiezonenniveau. De lengte van de infrastructuur wordt op dezelfde manier bepaald als die van het warmtenet (zie paragraaf 3.2.2 en Bijlage A)

De keuzes die gemaakt worden op het ene niveau staan niet altijd los van de keuzes op andere niveaus. Indien men op woningniveau de keuze maakt voor een collectieve installatie dan kan de keuze van het type collectieve installatie de keuze voor een bepaald verwarmingslichaam beïnvloeden. Een warmtepomp bijvoorbeeld werkt beter naarmate de gewenste temperaturen lager zijn. Een warmtepomp als collectieve installatie en de keuze “Radiators traditioneel 90-70°C” als verwarmingslichaam is dus geen verstandige. Het model blokkeert deze opties niet. De gebruiker wordt geacht verstandig met het model om te gaan en enige kennis is dus gewenst. Wel worden in het model zoveel mogelijk tips en richtlijnen gegeven wat wel en wat geen goede keuzes zijn.

Tabel 3: Vergelijking geplande en daadwerkelijke modelimplementatie van het woningniveau.

Algemeen	
Warmtevraag	Zoals beschreven in deel III.
Warmtewinst	Zoals beschreven in deel III.
Warm tapwaterbehoefte	Zoals beschreven in deel III. De relatie warm tapwaterbehoefte – gebruikersoppervlak van de woning kan bij grote woningen tot een extreem hoge vraag naar warm tapwater leiden.
Resterende energievraag	Zoals beschreven in deel III. In tegenstelling tot in de NEN-richtlijnen beschreven in het in het model mogelijk om gasstopcontacten en ‘hot fill’ aansluitingen te installeren. Deze beïnvloeden beiden de resterende energievraag. De keuze voor beide aansluitingen is op energiezonesniveau.
Warmte-overdracht	Zoals beschreven in deel III.
Energie-aanbod	Hier moet de keuze gemaakt worden of er door middel van een collectieve installatie warmte wordt geleverd of dat deze lokaal wordt opgewekt en met welke installatie dit dan moet gebeuren.
Duurzame energie	Zoals beschreven in deel III.
Warmteopslag	Er kan op woningniveau voor seizoensopslag worden gekozen. Het is echter ook mogelijk om de ‘overtollige’ warmte, geproduceerd door een zonnecollector op te slaan op energiezonesniveau. De warmte die hier wordt opgeslagen kan enkel gebruikt worden door collectieve installaties.
Elektriciteitsopslag	Zoals beschreven in deel III.

Concluderend kan worden gesteld dat de meeste items aangedragen voor implementatie in deel III daadwerkelijk zijn geïmplementeerd. De belangrijkste afwijking is het weglaten van subsidies. De wens om onzekerheden van toekomstige ontwikkelingen in de samenleving en de robuustheid van de keuzes gemaakt voor een bepaalde wijk tot uitdrukking te laten komen, komen niet duidelijk naar voren. Slechts door het zichtjaar te veranderen of door andere infrastructures te kiezen is het mogelijk om toekomstige ontwikkelingen in beeld te krijgen.

2.1.2 *Sterke punten*

De sterke punten van het model zijn de gebruikersvriendelijkheid, de flexibiliteit in combinatie met de volledigheid en met de al om erkende NEN-richtlijnen.

Al met al is het een complex model maar de gebruiker heeft daar weinig 'last' van. Voor degene die wel precies willen weten wat er allemaal in de 'black box' gebeurt is er de handleiding waarin alles tot in details beschreven is.

Veranderingen op energiegebied gaan snel. Om niet een model te bouwen dat binnen een jaar al achterhaald is, is er voor gekozen om nagenoeg alle gebruikte data in een database op te slaan. Deze data kunnen met behulp van Microsoft Access[®] worden bewerkt en aangevuld.

Door de logische indeling zal de gebruiker zich snel een weg kunnen vinden in het model. Er zijn maar die schermen waarop de gebruiker iets in kan vullen. Verder is context gevoelige help binnen handbereik/muisklik. Deze geeft de gebruiker de nodige achtergrondinformatie over de items die moeten worden ingevuld.

Het kost de gebruiker betrekkelijk weinig tijd om de gegevens in het model in te voeren mits deze eenmaal voorhanden zijn. Indien de meer gedetailleerde gegevens over bijv. het gebruiksoppervlak en/of oriëntatie (nog) niet bekend zijn kan de gebruiker aannames doen. De resultaten hebben dan weliswaar een minder absolute waarde maar een onderliggende vergelijking is nog steeds mogelijk.

Als alle gegevens eenmaal ingevoerd zijn, kunnen snel en eenvoudig diverse alternatieve energieplannen worden ingevuld en met elkaar vergeleken worden. Er kunnen overzichten in tabel en grafiekvorm worden gegenereerd. De export functie naar Excel maakt het mogelijk om de resultaten daarin nog verder vorm te geven.

Doordat het model in beginsel gebruikt maakt van de NEN-richtlijnen zijn de uitkomsten vergelijkbaar met andere bestaande modellen

2.1.3 *Zwakke punten*

Het in de vorige paragraaf als sterk aangeduid punt: de aansluiting bij de NEN-richtlijnen is tevens een zwak punt. De keuze voor de NEN-richtlijnen maakte het noodzakelijk om met enkele voor gedefinieerde type woningen te werken. Hoewel het mogelijk is om buiten het model om nieuwe type woningen toe te voegen aan de database is de drempel hiervoor zo hoog dat het eigenlijk niet tot de mogelijkheden behoort. Doordat woningen niet precies beschreven kunnen worden in het model zal de energievraag altijd een benadering blijven. Hoewel de benadering van de energievraag van de woning door het model redelijk is, is het model is dus minder geschikt voor nauwkeurige berekeningen van de absolute energievraag van een wijk. Hierbij kan overigens de kanttekening gemaakt worden dat zelfs bij een precieze beschrijving van de woningen de energievraag van de wijk een schatting blijft. Door het onvoorspelbare bewonersgedrag, dat de vraag sterk kan beïnvloeden, kan nooit bij voorbaat vast staan wat de precieze energievraag zal zijn. Het model is uiteraard wel geschikt om verschillende scenario's met elkaar te vergelijken. De fout die eventueel wordt gemaakt bij berekening van de warmtevraag van de woning zal voor alle scenario's gelijk zijn en heeft dus geen invloed op de berekende verschillen.

2.1.4 *Aanbevelingen*

De aanbevelingen voor verder onderzoek of ontwikkeling van het model vallen in drie niveaus op te delen.

- Uitbreiden van de database
- Kleine aanpassingen van het model

- Grote veel omvattende uitbreidingen

Uitbreiding van de database

Deze uitbreidingen zijn relatief het eenvoudigst te implementeren. Onder deze categorie vallen de toevoeging van utiliteitsbouw en het toevoegen van andere typen woningen. Het toevoegen van utiliteitsbouw is in wezen hetzelfde als het toevoegen van een type woning alleen de parameters zullen sterk verschillen

Kleine aanpassingen van het model

Kleine aanpassingen zijn toevoegingen aan het model zonder dat hiervoor de hele structuur of opzet van het model veranderd hoeft te worden. In deze categorie valt de opslag van elektriciteit wanneer een micro-wkk installatie voor de woning wordt gekozen. Een andere toevoeging is de mogelijkheid om gebruik te maken van aardwarmte.

Het model berekend op dit moment alleen nog de EPC van de woningen. De berekening van een EPL waarde voor de wijk zou een voor de hand liggende toevoeging zijn.

Een aanpassing van een andere type is de berekening van de benodigde hoeveelheid warm tapwater. In **Tabel 3** werd hierover al een opmerking gemaakt. De berekening zoals beschreven in NEN 5128 gaat er van uit dat de warm tapwaterbehoefte evenredig toeneemt met het gebruikersoppervlak. Bij grote huizen (groter dan 160 m² gebruikersoppervlak) wordt de tapwaterbehoefte 2 keer zo groot dan het gemiddelde van 375 m³ aardgas in Nederland [EnergieNed 1998a]. Onderzoek naar een beter relatie tussen oppervlak en tapwaterbehoefte lijkt dan ook op z'n plaats.

Grote veel omvattende uitbreidingen

In de praktijk blijkt er belangstelling te bestaan voor een geïntegreerde benadering van de (energie)-infrastructuur van nieuwe wijken. Een belangrijk item hierbij, naast de energie-infrastructuur zoals uitgewerkt in MERLiN, is transport. De vraag is hoe infrastructurele voorzieningen (openbaar vervoer voorzieningen als scholen en winkels in de wijk) het transport en met name de automobiliteit en het daarmee gepaard gaande energiegebruik kan worden verminderd. Hoewel dit veel moeilijker te modelleren is mede door de grotere invloed van bewonersgedrag zou het toch een interessante toevoeging kunnen zijn.

2.2 Modelanalyse warmtenet

Soms zijn bepaalde (invoer)gegevens aan de beginfase van een plan(vormings)traject onbekend of met onzekerheden omgeven, zoals de lengte van het distributienet voor warmte, oppervlakte van het plangebied of aantal onderstations. Echter de gebruiker dient voor de analyse van de locatie m.b.v. computermodel MERLiN wel waarden in te voeren of keuzes te maken.

Doordat bij het model “User-friendly-Simulated” voorop staat, is getracht om voor de gebruiker complexe keuzes/invoerwaarden tot een minimum te beperken. Zo ook bij het modelonderdeel Warmtenet (“stadsverwarming”).

Bij dit onderdeel kan de gebruiker een aantal invoerparameters door het model laten berekenen, zoals de lengte van het primaire leidingnet, secundaire leidingnet en aantal onderstations in de woonwijk (energiezone). Echter de gebruiker kan er ook voor kiezen zelf waarden in te voeren.

De berekende waarden van het warmtenet zijn afhankelijk van andere modelinvoer, zoals oppervlak van het plangebied, aantal woningen en temperatuur van de getransporteerde warmte.

Alle gemaakte keuzes of ingevulde waarden hebben invloed op de leidingverliezen en investeringskosten van het warmtenet.

Resultaten

Als uitgangspunt zijn de gegevens uit de wijk Terwijde zoals beschreven in deel IV genomen. Voor een aantal van de invoergegevens die met onzekerheid gepaard gaan zijn een tweetal varianten doorgerekend. In **Tabel 4** staan de procentuele veranderingen (kolom 3 en 4) in de leidingverliezen en investeringskosten ten opzichte van de totale (wijk+energiezone) verliezen (5246 GJ) en investeringskosten (€6131385). In de kolom met kopje “variant” staan de doorgevoerde veranderingen ten opzichte van de Ausgangssituatie.

Tabel 4: Overzicht resultaten.

Model	Waarde	Variant	Leidingverlies	Kosten
Oppervlakte plangebied	236729 (m ²)	+ 10%	+ 4%	+ 1.9%
		- 10%	- 7.8%	- 3.8%
Lengte transportleiding warmtenet	1250 (m)	+ 20%	+ 2.4%	+ 1.3%
		- 20%	- 2.4%	- 1.3%
Aantal onderstations	2	+ 1	+ 2.4%	+ 1.3%
		+ 2	+ 1.6%	+ 0.9%
Temperatuur warmtenet	“midden” (70/50°C)	Laag	- 42.7%	+ 17%
		Hoog	- 2.6%	- 9.1%

In de tabel is zichtbaar dat met name de temperatuur van het warmtenet grote gevolgen heeft voor de leidingverliezen en investeringskosten. Tevens valt op dat het verkleinen van het oppervlak van het plangebied, waardoor een grotere woningdichtheid ontstaat, relatief grotere gevolgen heeft op de leidingverliezen en investeringskosten dan vergroting van het gebied.

Verder is de bijdrage van transportleiding in de totale leidingverliezen en investeringskosten relatief klein.

Conclusie

Bij het invoeren van waarden of het maken van keuzes hebben met name de temperatuur van het warmtenet en het oppervlak van het plangebied relatief grote invloed op de totale leidingverliezen van het warmtenet en de investeringskosten. De bijdrage van de overige onderzochte modelonderdelen is kleiner.

2.3 Sluit het model aan bij de praktijk

In de eerste case studie (deel II) wordt onder andere geconcludeerd dat het hier ontwikkelde en beschreven model een bijdrage had kunnen leveren aan het besluitvormingsproces rond keuzes van de energie-infrastructuur van de wijk Poelgeest. Een kosten besparing in de onderzoeksfase behoorde hier zeker tot de mogelijkheden.

Bij de selectie van de tweede case studie (deel IV) is een poging gedaan om een case te vinden waarin het model MERLiN een rol zou kunnen spelen tijdens de besluitvormingsfase. Om praktische redenen: een geschikte wijk waarin het

besluitvormingsproces op het goede tijdstip plaats zou vinden kon niet worden gevonden. De wijk Terwijde die gebruikt is voor deze tweede case studie is onderdeel van de locatie Leidsche Rijn. De beslissingen voor deze wijk liggen reeds vast. Op verzoek van toekomstige bewoners is het wijkbureau Leidsche Rijn gevraagd om een alternatief aan te dragen voor stadsverwarming. Reden hiervoor zijn de twijfels die de toekomstige bewoners hebben over de kwaliteit stadsverwarming. De resultaten van het onderzoek van de wijk Terwijde zullen dus gebruikt gaan worden om de argumentatie voor bepaalde keuzes rond de energie-infrastructuur in andere wijken binnen Leidsche Rijn te onderbouwen. Wat de gevolgen zijn en wat nu de daadwerkelijke invloed van MERLiN is dit proces zal zijn valt buiten de tijdshorizon van dit project.

2.4 Hoe nu verder

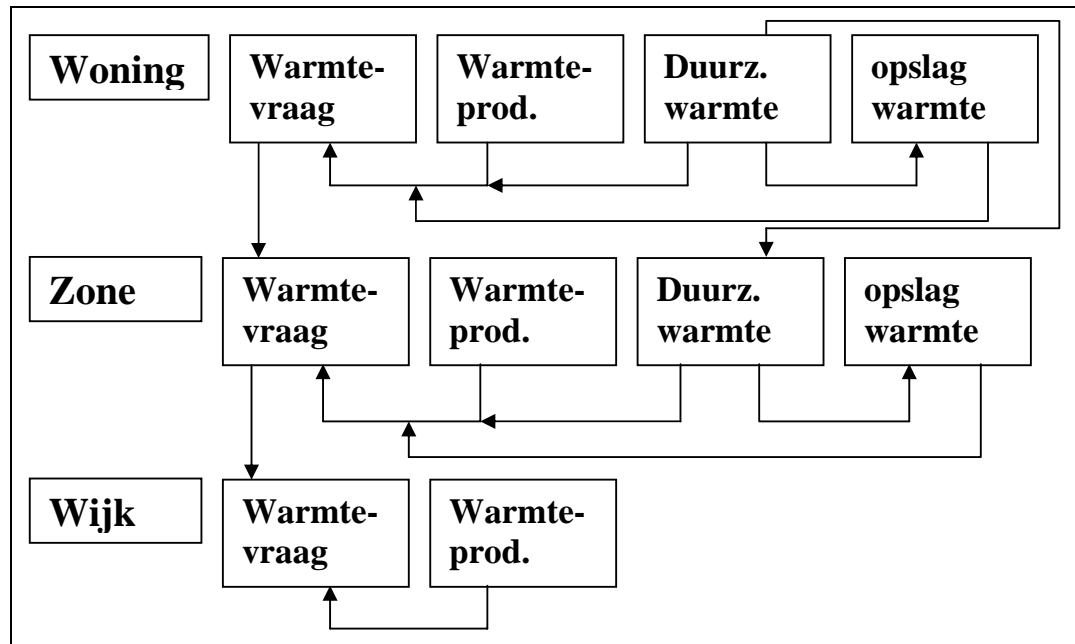
Hoewel het model nog niet in de praktijk, tijdens het besluitvormingsproces rond de inrichting van de energie-infrastructuur van een nieuwe wijk, getest is lijkt het veelbelovend. Door de gebruikervriendelijkheid van het model is het geschikt om gebruikt te worden door diverse partijen in het besluitvormingsproces rond de invulling van de energie-infrastructuur van nieuwe wijken.

Naast gebruik door de diverse partijen die bij het besluitvormingsproces betrokken zijn kan MERLiN ook een instrument zijn voor commerciële bureaus die zich verhuren aan gemeentes. Met behulp van MERLiN kunnen zij snel aan aantal alternatieven uitwerken en onderling vergelijken alvorens het veel duurdere detailonderzoek kan beginnen. Voordeel is dat, door in een vroeg stadium kansarme opties te elimineren of juist de kansrijke opties naar voren te halen, de kosten voor verder onderzoek beperkt kunnen worden. Daar het model voor beide partijen beschikbaar en ook voor leken goed te begrijpen is, kan ook de partij die het commercieel bureau inhuurt actief mee blijven denken en blijft ook transparant wat het onderzoeksbureau precies gedaan heeft.

Het bij de Novem ontwikkelde vervolg op OEI-1: OEI-2 biedt volgens wat uit de website op te maken valt ongeveer dezelfde mogelijkheden als MERLiN. Het zou daarom wenselijk zijn om na het gereed komen van OEI-2 beide modellen naast elkaar te zetten om zo van elkaar te leren.

3 Het model: de ‘Black box’

Binnen het model wordt zoveel mogelijk in Megajoule per jaar gerekend. Dit geldt zowel voor de warmtevraag en -opbrengst, als de elektriciteitsvraag en -opbrengst, als voor de gasvraag. Ook in de database wordt dit zoveel mogelijk aangehouden. In een aantal gevallen wordt echter wel de kWh gebruikt in de database, omdat die gegevens in de literatuur en in het gebruik meestal in kWh vermeld worden.



Figuur 1: Warmtestromen in het rekenmodel

Zoals ook in hoofdstuk 1 reeds geschreven is, heeft het model drie niveaus: de woning, de energiezone en de wijk. Deze worden ook in die volgorde doorgerekend. Deze volgorde wordt in deze modelbeschrijving zoveel mogelijk aangehouden. Eerst worden van de woning warmtevraag voor verwarming en warm tapwater berekend. Verder worden de opbrengsten van zonnecollectoren en PV-panelen berekend. Indien een warmteopslag bij de woning hoort, wordt deze eerst met de warmtevraag verrekend, voordat de installatie op woningniveau zijn warmte kan leveren. Indien een collectieve installatie gekozen is op zoneniveau, wordt de bruto warmtevraag, d.w.z. verwarming en warm tapwater tezamen waarbij de opbrengsten van collectoren en opslag er af getrokken is, als een warmtevraag naar de energiezone doorgegeven. Wanneer op de woningen zonnecollectoren geplaatst zijn, kan ook een warmteopbrengst aan de energiezone doorgegeven worden. Deze opbrengst wordt samen met de opbrengst van een collector op energiezonenniveau in een opslag op dit niveau gestopt. De warmte uit deze opslag wordt weer verrekend met de warmtevraag. Deze warmtevraag aan de installatie op energiezonenniveau is opgebouwd uit de vraag van de woningen, de verliezen van het warmtetransportnetwerk (leidingen en warmtewisselaars). Als er een energiecentrale op wijkniveau is (warmte levering door bijv. industrie of elektriciteitscentrale), dan wordt de warmtevraag van alle energiezones, die hier gebruik van maken, samengenomen. Hierbij wordt nog het verlies in de transportleiding opgeteld, waarna deze vraag door de energiecentrale wordt geleverd. De warmtestromen zijn schematisch weergegeven in **Figuur 1**.

Opbrengsten van elektriciteit worden eerst verrekend op het niveau waar ze geproduceerd zijn. Zijn er daarna overschotten of tekorten, dan worden deze geleverd of gevraagd aan het niveau daarboven, totdat het landelijk elektriciteitsnet bereikt is.

3.1 De woning

In principe is het mogelijk om elke individuele woning in het model op te nemen. Voor elke woning gedefinieerd in het model moet een aantal parameters opgegeven worden. Dit zijn: het gebruiksoppervlakte, de isolatiegraad, de oriëntatie en het soort ventilatie. Deze parameters hebben namelijk een grote invloed op de energievraag van de woning. Het uitgangspunt zijn de referentie woningen zoals gedefinieerd in NPR 5129 [Nederlands Normalisatie-instituut, 1999].

3.1.1 *Het opschalen van de referentie woning*

Het gebruiksoppervlak van een woning is een van de belangrijkste parameters van het energiegebruik van een woning. Daarom is de opschaling van de referentie woning naar het gewenste gebruiksoppervlakte noodzakelijk voor een goede benadering van het te verwachten energiegebruik. Om wille van de eenvoud voor de gebruiker is er voor gekozen om de verhoudingen van de buitenschil het raamoppervlak e.d. automatisch te laten schalen op basis van het gebruiksoppervlak. Transmissieverliezen worden groter doordat het muuroppervlakte groter wordt als het gebruiksoppervlakte toeneemt. Tevens zullen de ramen groter worden, voor voldoende lichtinval in de woning. Hierdoor zal de warmtewinst door zon inval weer groter wordt, indien de ramen op het zuiden gericht zijn. Ramen zijn echter minder goed geïsoleerd dan muren, waardoor ook de transmissieverliezen groter worden.

Het is daarom zaak de referentie woning zo goed mogelijk te schalen. Dit is op de volgende wijze gedaan: Wanneer alle verhoudingen van de woning (lengte en breedte) gelijk gelaten worden, zullen alle wanden, bij een vergroting van het gebruiksoppervlakte met een factor X , een factor wortel X groter worden. Ook als het een schuin dak betreft. Tevens worden de ramen ook een factor wortel X groter. Deuren schalen niet mee, omdat een deur niet veel groter of kleiner gemaakt wordt. Dit geldt ook voor deuren met glas.

Wanneer in een deur glas geplaatst is, schaalt de deur niet, maar het glasoppervlakte wordt wel opgeschaald. Dit heeft de volgende reden: Een deur groter maken is meestal niet functioneel en stuit op bouwkundige problemen. Er zal eerder gekozen worden voor het ernaast plaatsen van een raam, of het extra vergroten van een naastliggend raam. Daarom wordt het glas van een deur wel geschaald, maar de deur zelf niet.

Het dak en de vloer schalen met een factor X .

Wanneer de referentiewoningen op de bovenstaande wijze in NPR 5129 geschaald worden, blijkt dat de transmissie verliezen en de warmte winst nagenoeg lineair meeschalen. Hierdoor is het mogelijk om de verlies en winst posten met een eenvoudige lineaire vergelijking ($y = ax+b$) te koppelen aan de factor waarmee de woning geschaald wordt.

Voor vier verschillende isolatiegraden (zie paragraaf 3.1.2) zijn met NPR 5129 de transmissieverliezen berekend bij een aantal groottes van het gebruiksoppervlak van de woning (0,6 en 1,0 en 1,4 en 1,8 maal het originele gebruiksoppervlak).

In de database staan voor de vier isolatiegraden de a en de b van de lineaire vergelijking gegeven voor elk woningtype. Door in het model de schalingsfactor (x) in te vullen wordt het transmissieverlies voor de woning berekend.

Voor vijf verschillende oriëntaties (zie hieronder) zijn op dezelfde wijze de warmtewinsten berekend bij de verschillende gebruiksoppervlaktes en ook hiervan zijn de a en de b in de database opgenomen.

3.1.2 De warmtebalans

Transmissieverliezen en isolatie

De transmissieverliezen zijn uiteraard sterk afhankelijk van de isolatiegraad van de woning. Ondanks het feit dat isolatie zo belangrijk is hebben we toch voor een versimpeling betreffende isolatie gekozen. Hiervoor zijn twee redenen:

- het gebruik van de referentie woning (NPR 5129) en de daarbij behorende opschaling maken het onmogelijk om op eenvoudige wijze isolatie materialen te veranderen;
- we willen de gebruiker niet laten kiezen tussen allerlei isolatie materialen die hem/haar niets zeggen.

Hierom hebben we gekozen voor vier isolatiepakketten:

Slecht

De muren, dak en vloer voldoen aan de minimale eis voor de warmteweerstand ($R_c = 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$). Het vensterglas is HR⁺ glas met een U-waarde van $2,0 \text{ W/Km}^2$. En de deuren zijn van hout met een U-waarde van $3,4 \text{ W/Km}^2$.

Normaal

Dit zijn de waarden zoals voor de referentie woningen gebruikt zijn. Muren: $R_c = 3,0 \text{ m}^2\text{K/W}$. HR⁺⁺ glas $U = 1,7 \text{ W/Km}^2$. Houten deuren $U = 3,4 \text{ W/Km}^2$.

Goed

De warmteweerstand van de muren, dak en vloer is verhoogd naar een R_c van $4,0 \text{ m}^2\text{K/W}$. De rest is hetzelfde als bij de normale isolatiegraad.

Zeer goed

De warmteweerstand van de muren, dak en vloer is $5,0 \text{ m}^2\text{K/W}$. Het vensterglas bestaat uit triple glas: $U = 1,5 \text{ W/Km}^2$. De deuren zijn geïsoleerd: $U = 2,0 \text{ W/Km}^2$.

Per isolatiepakket is één vergelijking nodig om de transmissie verliezen te kunnen berekenen.

Warmtewinst en oriëntatie

De warmtewinst is afhankelijk van de oriëntatie op de zon. Door de woning in NPR 5129 met stappen van 45 graden te draaien is voor vijf oriëntaties (zuid via west naar noord) een lineaire vergelijking opgesteld voor de warmte winst. Voor de oriëntaties noord-oost, oost en zuid-oost worden respectievelijk de waarden voor noord-west, west en zuidwest gebruikt, omdat hiertussen nauwelijks verschil is.

Ventilatie

De ventilatie verliezen worden volgens NEN 5128 berekend. Hierbij wordt **geen** rekening gehouden met al of niet volledig uitschakelbaar zijn van het ventilatiesysteem bij gebruik van warmteterugwinning. Voor het berekenen van $q_{v;i;k}$ is het gemiddelde genomen van de twee formules (26a, 26b), die gegeven worden op pag. 41 van NEN 5128. Hierdoor wordt $q_{v;i;k}$ op de volgende manier in het model berekend:

$$q_{v;i;k} = 0,31 * A_{g;i}$$

Voor het energiegebruik van ventilatie staat in NEN 5128 par 10.3 (blz. 85) forfaitaire rekenwaarden. Omdat deze afhankelijk zijn van het gebruiksoppervlakte is het

energiegebruik per m² in de database opgenomen. Voor het berekenen hiervan is de volgende berekening gebruikt:
Het aantal kWh/m² dat in de tabel met het gebruiksoppervlak vermenigvuldigd wordt, is gemiddeld tussen wisselstroom en gelijkstroom.

Warmtebehoefte voor verwarming

De warmtebehoefte voor verwarming wordt volgens NEN 5128 berekend met:

$$Q_{\text{beh}} = Q_{\text{tr}} + Q_{\text{vent}} - \eta_b * Q_{\text{winst}}$$

Hierin is η_b de benuttingfactor voor warmtewinst berekend volgens paragraaf 6.3. De bruto warmtebehoefte voor verwarming wordt volgens formule 39 berekend. Het systeemrendement voor de verschillende typen verwarmingsinstallaties zoals in Tabel 10 van NEN 5128, staan in de database in de tabel 'WarmteAfgifte'. Verder geldt voor warmtepompen (gevonden in EPC-programma (NPR 5129)); bij een aanvoer temperatuur boven de 45graden en beneden de 35 graden een systeemrendement van 0.95. In het tussenliggende temperatuursgebied is het systeemrendement 0.975. Omdat het om nieuwbouwwijken gaat, wordt voor collectieve verwarming uitgegaan van de waarden waarbij individuele warmtekosten per woning worden bijgehouden. De distributieverliezen worden op nul gesteld, omdat ervan uitgegaan wordt dat bij gebouwgebonden collectieve verwarming alle leidingen binnen het gebouw liggen. Het distributierendement wordt daarom op 1,0 gesteld.

Warmtebehoefte voor tapwater

De netto warmtebehoefte voor tapwater wordt volgens NEN 5128 berekend. Indien **niet** voor het bepalen van de EPC wordt gerekend²⁴, wordt de warm tapwaterbehoefte voor reiniging (d.w.z. wasmachine en afwasmachine (zie paragraaf: Reiniging)) hierbij opgeteld.

De klasse van het verwarmingstoestel wordt drie verondersteld. Deze wordt bijna alle voorbeelden uit EPC berekeningen gebruikt, zowel voor grote als kleine woningen. Alleen de Referentiewoning nr.3 (galerijflat) had een klasse 2 toestel. Bovendien strookt een klasse 3 toestel ook beter met de vraag van meer comfort.

De bruto warmtebehoefte voor tapwater wordt berekend volgens formule 46. Hierin en in de daarbij behorende vervolformules worden voor de systeemrendement de forfaitaire waardes gebruikt. Hierbij wordt ervan uitgegaan, dat de leidingdiameter naar het aanrecht niet groter is dan 10 mm. Dit levert volgens paragraaf 9.3.3 de volgende waarden:

$$\begin{aligned}\eta_{\text{leid;bad}} &= 0.86 \\ \eta_{\text{leid;aanr}} &= 0.48\end{aligned}$$

3.1.3 Apparatuur *Primair energiegebruik bij een lokale installatie*

De omrekening van bruto warmtevraag naar primair energiegebruik gaat volgens de formules 38b en 45. Er is gekozen voor 38b i.p.v. 38c, omdat het systeem waarbij de

²⁴ In het model worden de berekeningen twee keer doorlopen. Één keer voor de berekening van de EPC en één keer voor de werkelijke berekening van de warmtebalans e.d.. De reden hiervoor is dat in het model meer mogelijkheden aanwezig zijn dan voor de berekening van de EPC mogen worden meegenomen.

warmte direct aan het warmte-afgiftesysteem wordt toegevoerd minder voorkomt en minder efficiënt is.

Verder geldt bij warmtepompen (gevonden in EPC-programma (NPR 5129)):

Taanvoer > 45: sysrend 0.95,
 35 < Taanvoer < 45: sysrend 0.975,
 Taanvoer < 35: sysrend 0.95

Het opwekkingsrendement uit formule 38b wordt gehaald uit Tabel 11. Deze is afhankelijk van de ontwerp aanvoertemperatuur van het warmte-afgiftesysteem. Deze (eventueel aangepaste) rendementen staan in de tabel 'RendementInstallatieHuis' van de database en worden afhankelijk van het warmte-afgiftesysteem geselecteerd²⁵.

Het opwekkingsrendement voor tapwater staat in tabel 'InstallatieHuis' van de database in de kolom 'tap-rendement'. In deze tabel staat tevens of de installatie al dan niet elektrisch "aangedreven" is.

Indien er een lokaal opslagsysteem is, wordt de warmte die hierin is opgeslagen eerst gebruikt voor het opwekken van warmte. Hiervoor zijn twee verschillende situaties:

De installatie is geen warmtepomp.

In dit geval zal eerst het tapwater opgewarmd worden met behulp van de opslag tot de temperatuur van de opgeslagen warmte. Indien er nog warmte over is, nadat al het tapwater is voorverwarmd, zal ook het retourwater van de verwarming opgewarmd worden tot deze temperatuur. De rest van de warmtebehoefte zal uit de verwarmingsinstallatie komen. Daarom wordt eerst berekend welk deel van de bruto warmtebehoefte maximaal met de gegeven opslagtemperatuur uit een opslag gehaald kan worden. Omdat warmtestromen evenredig zijn met het temperatuursverschil, wordt dit op de volgende manier berekend:

$$Q_{\text{opsl}} = (T_{\text{opsl}} - T_{\text{laag}}) / (T_{\text{max}} - T_{\text{laag}}) * Q_{\text{beh;bruto}}$$

Hierin is:

Q_{opsl} de maximale hoeveelheid warmte die uit opslag gebruikt kan worden voor voorverwarming,

T_{opsl} is de maximale temperatuur van de opslag, T_{laag} is de temperatuur van het koude water of het retourwater, T_{max} is de temperatuur van het tapwater (60 °C) of de aanvoertemperatuur van het verwarmingsysteem en $Q_{\text{beh;bruto}}$ is de bruto warmtebehoefte voor tapwater of verwarming.

Omdat de temperatuur van de opslag in de loop van het stookseizoen daalt, wordt niet met de maximale opslagtemperatuur gerekend, maar met de gemiddelde opslagtemperatuur. Omdat we er van uit gaan dat de opslag niet te groot wordt gekozen, zal de temperatuur van de opslag in de loop van het stookseizoen dalen tot de retourtemperatuur. Daarom wordt de gemiddelde temperatuur midden tussen de opslagtemperatuur en de retourtemperatuur genomen. Hierdoor wijzigt de bovenstaande formule in de volgende:

²⁵ Voor de programmeur: De rendementen die in de tabel 'RendementInstallatieHuis' van de database staan gelden tot de temperatuur die in het record staat. In de tabel wordt gezocht op installatie. De gevonden waarden worden dan van laag naar hoog doorlopen totdat een temperatuur gevonden wordt, die hoger is dan de temperatuur van het warmte-afgiftesysteem. Het rendement bij deze waarde is dan het benodigde rendement.

$$Q_{\text{opsl}} = ((T_{\text{opsl}} - T_{\text{laag}})/2)/(T_{\text{max}} - T_{\text{laag}}) * Q_{\text{beh;bruto}}$$

Omdat de temperatuur van koud water lager ligt dan dat van het retourwater van het verwarmingsysteem, zal de bovenstaande berekening eerst voor het tapwater uitgevoerd worden. Hierbij kan over een groter temperatuurstraject worden voorverwarmd, zodat hierbij ook het meeste warmte uit de opslag word gebruikt. Nadat Q_{opsl} op bovenstaande wijze voor tapwater berekend is, wordt deze vergeleken met de hoeveelheid warmte die in de opslag aanwezig is. Is Q_{opsl} het grootst dan wordt $Q_{\text{beh;brt;tap}}$ verminderd met de hoeveelheid warmte uit de opslag en deze laatste wordt op nul gezet. Is Q_{opsl} het kleinst, dan wordt $Q_{\text{beh;tap;bruto}}$ verminderd met Q_{opsl} en wordt Q_{opsl} afgetrokken van de hoeveelheid warmte in de opslag. Als daarna nog warmte in de opslag over is, wordt dezelfde berekening voor het verwarmingsysteem gedaan met $Q_{\text{beh;verw;bruto}}$.

De installatie is een warmtepomp

Hierbij wordt de opgeslagen warmte alleen gebruikt voor de verwarming en niet voor het tapwater. Onder normale omstandigheden wordt het tapwater vanaf 10 graden opgewarmd. Dit is een klein verschil met de brontemperatuur van de warmtepomp, waardoor deze in het eerste deel zeer efficiënt werkt.

Wordt nu echter het tapwater eerst voorverwarmt met de opslag ($T_{\text{opslag}} > T_{\text{koud water}}$), dan is het temperatuurverschil tussen bron en het voorverwarmde water waarover de warmtepomp moet gaan werken groter geworden. Hierdoor werkt de pomp minder efficiënt.

Bij de verwarming geldt deze redenatie niet, omdat dan vooral retourwater opgewarmd wordt. Dit retourwater heeft een hogere temperatuur dan de temperatuur van de opslag. Dan heeft verhoging van de brontemperatuur (de opslag) wel tot effect dat het temperatuurverschil tussen opslag en retourwater kleiner wordt, waardoor de COP van de warmtepomp stijgt.

Wanneer er een opslagsysteem aanwezig is, wordt de warmte van hoge temperatuur, die hierin is opgeslagen, gebruikt om de COP van de warmtepomp te laten stijgen. Deze verhoging van de COP wordt op de volgende manier berekend:

Voor een ideale warmtepomp geldt volgens Carnot de volgende formule voor de COP:

$$\text{COP} = T_{\text{hoog}}/(T_{\text{hoog}} - T_{\text{bron}})$$

Hierin is T_{hoog} de temperatuur waarop het te verwarmen medium moet komen en T_{bron} is de temperatuur van de warmtebron (beide in Kelvin). Hieruit blijkt dat de COP daalt met het te overbruggen warmteverschil. Helaas ligt de COP van een echte warmtepomp een stuk lager, dan op grond van de bovenstaande formule verwacht mag worden. Daarom hebben we deze aangepast met een coëfficiënt:

$$\text{COP} = C_{\text{pomp}} * T_{\text{hoog}}/(T_{\text{hoog}} - T_{\text{bron}})$$

Hierin is C_{pomp} een coëfficiënt dat zorgt dat de theoretisch kromme fit op de werkelijke kromme voor de COP die bij de warmtepomp hoort.

In het model wordt een warmtepomp met bijbehorende bron gekozen uit de database. In de database zijn ook de COP-waarden voor die warmtepomp opgenomen voor verschillende temperaturen van het warmte-afgiftesysteem. Het programma kiest hieruit de juiste COP voor de warmtepomp. Aan de hand van de gevonden COP en de bekende bron- en afgiftetemperatuur kan de C_{pomp} uitgerekend worden. Omdat voor een

opslagsysteem de T_{bron} hoger is dan de oorspronkelijke brontemperatuur kan nu de nieuwe COP, die voor de hogere brontemperatuur geldt, worden uitgerekend.

Deze berekening geldt natuurlijk alleen voor een warmtepomp met de bodem als bron (Het model controleert dit **niet**). Voor de standaard bodemtemperatuur wordt 10 graden Celsius aangehouden. Omdat zich al snel ijs om een warmtewisselaar vormt, wordt gerekend met een brontemperatuur van nul graden Celsius [Wit, 21/10/2002]. Bovendien moeten in de berekening ook nog het temperatuursverloop over de condensor en de verdamper meegerekend worden. Deze zijn respectievelijk op 10 en 3 graden gesteld. Hierdoor geldt voor het berekenen van C_{pomp} :

$$\begin{aligned} C_{\text{pomp}} &= \text{COP} * (T_{\text{hoog}} + dT_{\text{condensor}} - T_{\text{bron}} - dT_{\text{verdamp}}) / (T_{\text{hoog}} + dT_{\text{condensor}}) \\ &= \text{COP} * (T_{\text{hoog}} + 10 - 0 - 3) / (T_{\text{hoog}} + 10) \end{aligned}$$

Van de warmteopslag is bekend welke temperatuur deze heeft aan het begin van het stookseizoen (deze komt uit de database). Omdat deze temperatuur hoger is dan de standaard bodemtemperatuur van 10° C, werkt de warmtepomp met een hogere COP voor de opgeslagen warmte. Omdat de temperatuur van de opslag daalt tijdens het stookseizoen, door de onttrekking van warmte, zal deze aan het einde van het seizoen lager liggen dan aan het begin. In het model is er voor gekozen T_{bron} midden tussen de opslagtemperatuur en de bodemtemperatuur te nemen, omdat op het moment dat de “standaard” bodemtemperatuur bereikt is, de “standaard” COP weer gaat gelden. Dus voor de opgeslagen hoeveelheid warmte geldt de verhoogde COP voor de warmtepomp, die volgens de formule hierboven berekend wordt, met T_{bron} midden tussen T_{opslag} en T_{bodem} (natuurlijk is ook hier weer het temperatuursverloop over condensor en verdamper verrekend). Daarna wordt weer met de originele COP gerekend. Dit is een grove benadering, omdat de COP niet lineair samenhangt met de brontemperatuur.

Elektrische hulpenergie van de lokale installatie

Elektrische hulpenergie van de lokale installatie wordt niet volgens NEN 5128 berekend, maar in de database is een veld opgenomen, waarin staat hoeveel MJ aan hulpenergie nodig is per MJ opgewekte warmte. In het model wordt dus de hoeveelheid hulpenergie berekend aan de hand van het energiegebruik van de woning. Dit wordt niet voor elektrische installaties gedaan. Bij deze wordt de hulpenergie in het rendement verwerkt.

Reinigingsapparatuur

Nadat de EPC is berekend, wordt ook het energiegebruik van reinigingsapparatuur meegerekend voor het energiegebruik van de woning. De reinigingsapparatuur die meegerekend wordt zijn: de wasmachine, de afwasmachine en de wasdroger. Dit zijn apparaten, die veel elektrische energie gebruiken voor de verwarming van water of lucht en waar een alternatief voor handen is. Hoewel ze niet vast bij de woning horen, hebben ze wel een grote invloed op het energiegebruik van de woning. In het model bestaat de mogelijkheid om te kiezen voor de aanleg van hot fill-aansluitingen en/of gasstopcontacten in de woning.

Hot fill-aansluitingen zorgen voor een verschuiving van het energiegebruik van elektriciteit naar warmte. Gasstopcontacten zorgen voor een verschuiving van elektriciteit naar gas. Dit kan gevolg hebben voor de keuze van de warmteopwekker.

De keuze voor hot fill-aansluitingen en gasstopcontacten wordt gemaakt op energiezonenniveau. Het is namelijk financieel alleen aantrekkelijk om zulke aansluitingen in het groot (dus niet op woningniveau) aan te leggen.

De gegevens voor de reinigingsapparatuur staan in de tabel “Reiniging” van de database. Voor wasmachines zijn de volgende velden opgenomen:

Het aantal wasbeurten per jaar (wasAantal)

Een correctiefactor voor het verschil in testprogramma's en het gemiddelde energiegebruik van reële wasbeurten (wasFactor)

De penetratiegraad van wasmachines in de huishoudens (wasPenetratie)

De elektriciteitsvraag in kWh per wasbeurt (wasElek)

De penetratiegraad van hot fill-machines in de huishoudens (wasHotPenetratie)

De energie in het warme water bij een hot fill-machine per wasbeurt in kWh (wasHotGas)

Het elektriciteitsgebruik van een hot fill-machine per wasbeurt in kWh (wasHotElek)

Voor afwasmachines zijn dezelfde velden opgenomen, allen beginnen de namen van de velden voor afwasmachines in plaats van met “was” met “afwas”.

Zonder hot fill-aansluitingen geldt voor het gemiddelde elektriciteitsgebruik van deze apparaten de volgende formule:

$$wasAantal * wasFactor * wasPenetratie * wasElek$$

Voor een enkele woning hoort natuurlijk de penetratiegraad van de apparatuur niet opgenomen te worden in het energiegebruik van de (af)wasmachine, maar omdat dit model bedoeld is voor berekening van het energiegebruik op wijkniveau, is de penetratiegraad toch meegenomen.

Met hot fill-aansluitingen moet het energiegebruik opgesplitst worden in twee delen. Eén deel voor de energie via het warme water en één deel voor het elektriciteitsgebruik. Voor het energiegebruik via het warme water geldt:

$$wasAantal * wasFactor * wasPenetratie * wasHotgas$$

En voor het elektriciteitsgebruik geldt:

$$wasAantal * wasFactor * wasPenetratie * wasHotElek$$

Hierdoor wordt het energiegebruik verkregen in kWh per jaar.

Voor wasdrogers zijn de volgende velden opgenomen:

Het aantal droogbeurten per jaar (droogAantal)

Een correctiefactor voor het verschil in testprogramma's en het gemiddelde energiegebruik van reële droogbeurten (droogFactor)

De penetratiegraad van drogers in de huishoudens (droogPenetratie)

De elektriciteitsvraag in kWh per droogbeurt (droogElek)

De penetratiegraad van gasgestookte drogers in de huishoudens (droogGasPenetratie)

Het gasgebruik van de droger per droogbeurt in kWh (droogGasGas)

Het elektriciteitsgebruik van de droger per droogbeurt in kWh (droogGasElek)

Zonder gasstopcontacten geldt voor het gemiddelde elektriciteitsgebruik van de droger de volgende formule:

$$droogAantal * droogFactor * droogPenetratie * droogElek$$

Met gasstopcontacten moet het energiegebruik opgesplitst worden in twee delen. Eén deel voor de energie via het gas en één deel voor het elektriciteitsgebruik. Voor het energiegebruik via het gas geldt:

$$\text{droogAantal} * \text{droogFactor} * \text{droogPenetratie} * \text{droogGasGas}$$

En voor het elektriciteitsgebruik geldt:

$$\text{droogAantal} * \text{droogFactor} * \text{droogPenetratie} * \text{droogGasElek}$$

Het energiegebruik van de reinigingsapparatuur wordt opgeteld bij het elektriciteitsverbruik van de woning, het energiegebruik voor gas of bij de warm tapwatervraag.

In de tabel “Reiniging” van de database staan de bovenstaande gegevens elk in een eigen veld. In het record staat ook het jaartal waarbij de waarden horen. Het model zoekt in de database het jaartal dat het dichtst bij het zichtjaar staat, dat doorgerekend gaat worden. De data bij dit jaar horen, worden dan gebruikt. De data die nu in de database staan horen bij het jaar 2000 en komen uit BEK [EnergieNed 2000].

3.1.4 EPC

De EPC wordt volgens NEN 5128 berekend. Hierbij zijn nog enkele kleine verschillen: De warmte in een lokale opslag wordt wel meegerekend. Hierover staat niets in de norm, maar de winst die hierdoor wordt verkregen, is verrekend zoals in de paragraaf 3.1.3 onder de kop “Primaire energiegebruik bij een lokale installatie” beschreven wordt.

Bij gebouwgebonden warmte-krachtinstallaties wordt gerekend volgens bijlage D.4.2 uit NEN 5128. Hierbij komen de rendementen voor warmte- en elektriciteitsopwekking van de installatie uit de database.

Een gebouwgebonden warmtepomp wordt niet in NEN 5128 beschreven. Deze wordt daarom behandeld als warmtelevering door derden.

Bij warmtelevering door derden zoals beschreven in paragraaf 15.3.2 in NEN 5128, wordt onderscheid gemaakt tussen de verschillende vormen van warmteopwekking. Omdat de verschillen klein zijn en het op voorhand niet duidelijk is welke opwekking gebruikt gaat worden, wordt in het model de conservatieve waarde van 1,0 voor het equivalente rendement gebruikt.

Omdat op het niveau waarop het model rekent vele onzekerheden zijn en er daarom niet zo nauwkeurig gewerkt kan worden als in NEN 5128, is de betrouwbaarheid van de EPC slechts één decimaal. Daar besparingsmaatregelen vaak niet in de eerste decimaal van de EPC zichtbaar zijn is er toch voor gekozen om de EPC in twee decimalen weer te geven. De tweede decimaal heeft dus slechts een relatieve betekenis.

3.1.5 Duurzame energie

Het zonne-energiesysteem

In de vorige paragrafen is de bruto warmtebehoefte berekend. Indien een collectief verwarmingssysteem gekozen wordt door de gebruiker moet eerst de netto energiebehoefte of een warmtevraag worden bepaald. De netto energievraag is de bruto energievraag reduceert met de eventuele bijdrage van een zonne-energiesysteem. Zo wordt de warmtevraag verkregen die door the collectief verwarmingssysteem moet worden geleverd.

Deze bijdrage wordt voor tapwater volgens paragraaf 9.5 berekend. Hierbij wordt een correctiefactor gebruikt voor eventuele systemen met een kwaliteitsverklaring. Deze factor staat in de tabel ‘ZonnecollectorHuis’ in de kolom ‘rend_tap_factor’. Dit is een

vermenigvuldigingsfactor voor de waarden uit tabel 21. Hierdoor kan het rendement hoger uitkomen.

Omdat de overgebleven warmte eventueel nog in een opslagsysteem gebruikt kan worden, wordt ook bijgehouden hoeveel warmte over is. Dit wordt op de volgende manier berekend:

$Q_{ze;over} =$ invallende zonne-energie – collectorverliezen – collectoropbrengst.

De laatste twee worden ook hier gecorrigeerd voor de bovenstaande correctiefactor.

Deze $Q_{ze;over}$ kan in een lokaal opslagsysteem gestopt worden of, wanneer een collectief verwarmingsysteem gebruikt wordt, in een centrale opslag.

De collectorverliezen worden op 55% van de invallende zonne-energie gesteld. Deze waarde is een gemiddelde van de waarden uit een rapport van TNO ‘Monitoring the Groningen Solar Energy System with seasonal het storage in the soil’ [TNO-TPD, 1987] in overleg met Huibert Sporenberg van TNO Bouw.

De bijdrage van een zonneboiler-combisysteem voor verwarming wordt berekend volgens paragraaf 8.6. Deze waarde wordt van de bovenstaande waarde $Q_{ze;over}$ afgetrokken.

De jaarrendementen in de tabellen 14 en 21, die ook in het model gebruikt worden, zijn inclusief een verrekening voor elektrische hulpenergie. In de database bij het model staat ook een veld voor de hulpenergie van de installatie. Hierin staat het aantal MJ hulpenergie per opgewekte hoeveelheid warmte voor verwarming en tapwater in MJ. De energiekosten voor de elektrische hulpenergie (voor elektronica en pompen) wordt in het model bepaald aan de hand van de waarde van dit veld.

Lokale opslag

In de database wordt voor de lokale opslag de capaciteit gegeven. Dit is de hoeveelheid warmte (in MJ) die maximaal uit de opslag gehaald kan worden per jaar. Dus de hoeveelheid overtollige warmte die in de opslag gestopt kan worden is gelijk aan de capaciteit gedeeld door het rendement van de opslag.

De hoeveelheid elektrische hulpenergie die nodig is voor deze opslag wordt berekend door de bovenstaande hoeveelheid warmte te vermenigvuldigen met de waarde van het veld “hulpenergie” uit de tabel “OpslagHuis” uit de database.

PV

De opbrengst van PV wordt volgens hoofdstuk 14 van NEN 5128 berekend. Hierbij zijn twee details weggelaten:

In tabel 29 staan geldigheidsgebieden waarbinnen de reductiefactoren van tabel 28 gelden. Aangezien er geen waarden voor de reductiefactoren buiten de gebieden beschikbaar zijn, gelden in het model deze waarden voor alle oriëntaties en hoeken.

De correctiefactor voor beschaduwing is op 1.0 gesteld, omdat ervan uitgegaan wordt dat bij het ontwerpen van goede nieuwbouwwoningen er op gelet wordt dat PV-panelen niet beschaduwd worden. Zeker gezien de drastische terugval in opbrengst.

3.2 De energiezone

Binnen het model zijn energiezones gedefinieerd. Dit zijn delen van de wijk (of de hele wijk) waarbinnen één systeem van energieopwekking wordt gebruikt. De grootte van de wijk kan sterk variëren. Een energiezone kan bestaan uit de gehele wijk, waarbij

bijvoorbeeld alle huizen een gewone HR-ketel hebben. Een energiezone kan ook een blok zijn met daarin bijvoorbeeld een blokverwarming, waarbij alle huizen aangesloten zijn op een collectieve warmtepomp en zonnecollectoren op het dak hebben, waarvan het overschot aan warmte collectief opgeslagen wordt. Maar ook zone kan ook een enkele flat zijn met bijvoorbeeld een collectieve gebouwgebonden warmtekrachtinstallatie. Om dit alles binnen het model te kunnen vangen, kunnen de volgende variabelen worden ingevoerd op energiezonenniveau:

- Het type collectieve verwarmingsinstallatie;
- De leidinglengte van een primair en secundair warmtetransportnet;
- Een type warmteopslag;
- Een type collectieve zonnecollectoren (bijvoorbeeld een stuk weg als collector);
- Hebben de woningen een hot fill-aansluiting of een gasstopcontact;
- Aanwezige leidingeninfrastructuur.

Het model berekent binnen de energiezone eerst de warmtevraag van alle woningen, zoals hierboven over het woningniveau beschreven is. Indien daar collectieve verwarming aangegeven is, zal vanuit de woningen naar de energiezone een warmtevraag zijn. Dit is de netto warmtevraag.

Naast deze netto warmtevraag kan er ook een warmteoverschot zijn. Dit is het warmteoverschot uit zonnecollectoren op de woningen, dat ontstaat doordat de opbrengst van de collectoren niet altijd samenvalt met de vraag naar warmte.

Indien aanwezig kan dit warmteoverschot in een centrale opslag worden gestopt. Als zo'n opslag er niet is, is deze warmte verloren en wordt er niets mee gedaan.

Zonnecollectoren op energiezonenniveau kunnen hun warmte alleen afstaan aan een collectieve opslag. De reden hiervoor is de volgende: collectoren die op daken van woningen geplaatst worden, worden toegerekend aan de woning. Collectieve collectoren kunnen alleen worden opgesteld in de openbare ruimte over. Hierbij moet gedacht worden, aan bijvoorbeeld een weg die als collector gebruikt wordt. Hierbij wordt een deel van de warmte gebruikt om de weg in de winter ijs- en sneeuwvrij te houden. de overtollige warmte kan dan voor verwarming van de woningen in de wijk gebruikt worden. Dit soort systemen zijn altijd inclusief een opslag voor de warmte. In het model moet deze opslag nog wel aangegeven worden door de gebruiker.

3.2.1 *Warmtevraag*

Voor het berekenen van de bruto warmtebehoefte worden bij de netto warmtevraag van de woningen de volgende verliezen opgeteld: die van warmtewisselaars in de woningen, die van het secundaire en primaire warmtenet en de verliezen in de onderstations tussen deze netten.

3.2.2 *Leidingverliezen in het warmtenetwerk*

De berekeningmethode voor de verliezen in het primaire en secundaire warmtenet zijn hetzelfde. En worden berekend volgens de volgende methode.

Een stuk leiding met een bepaalde diameter en isolatie heeft een U-waarde. Dit is een warmtegeleidingscoëfficiënt. Het vermogen waarmee de warmte uit een stuk leiding van één meter wegstroomt [<http://www.logstor.com/productcatalogue/>] is:

$$P = U \cdot (T_{\text{aanvoer}} + T_{\text{retour}} - 2 \cdot T_{\text{bodem}}) \cdot \text{sec}$$

Hierin is:

Sec = aantal seconden per jaar.

Vermenigvuldiging met de lengte van leiding, die de betreffende U-waarde heeft, levert het totale energieverlies op per jaar van dat leidingdeel.

Helaas bestaat een warmtenetwerk niet uit één leiding met maar één diameter, maar worden de leidingen dichterbij de woningen toe steeds dunner. Hierdoor verandert niet alleen de diameter van de leiding, maar ook de U-waarde, omdat de dikte van het isolatiemateriaal verandert met de diameter.

Leidingen zijn in vaste maten verkrijgbaar, de zogenaamde din-maten. We hebben gekozen voor de standaard stalen pijp [<http://www.logstor.com/productcatalogue/>] met de gemiddelde isolatie. De prijs van deze isolatiegraad verschilt weinig van de minst goed geïsoleerde leidingen, terwijl het prijsverschil met de best geïsoleerde leidingen vrij groot is. Ondanks dat meestal gekozen wordt voor de economisch meest voordelige oplossing, hebben we vanwege het zeer kleine prijsverschil met de goedkopere leidingen gekozen voor de leidingen met gemiddelde isolatie. Het prijsverschil met de beste isolatie is te groot om in de praktijk gebruikt te worden. Er zal dan eerder gekozen worden voor een leiding met grotere diameter, die wat minder goed geïsoleerd is, om de extra verliezen door de mindere isolatie te compenseren.

Uit gegevens van ontwerpen van warmtenetwerken [Jansen, 6/5/2002, Duesmann 24/6/2002 en Duesmann 25/6/2002], blijkt dat meestal een beperkt aantal leidingdiameters domineert. Uit de gegevens zijn voor alle secundaire netwerken zonder gescheiden tapwatersysteem de lengtes van de verschillende leidingdiameters als percentage van de totale netwerklengte genomen. Van deze percentage is per diameter het gemiddelde genomen. Hierdoor is de volgende tabel ontstaan, wat als een gemiddeld warmtenetwerk kan worden gezien.

Tabel 5: Leidinggegevens warmtenetwerk.

type	binnendiameter	uwaarde	lengtedeelsec
DN25	0.025	0.143	0.04
DN32	0.032	0.156	0.51
DN40	0.04	0.176	0.1
DN50	0.05	0.199	0.16
DN65	0.065	0.223	0.11
DN80	0.08	0.234	0.04
DN100	0.1	0.244	0.04
DN125	0.125	0.282	0
DN150	0.15	0.322	0
DN200	0.2	0.341	0
DN250	0.25	0.333	0
DN300	0.3	0.383	0
DN350	0.25	0.369	0
DN400	0.4	0.381	0
DN450	0.45	0.383	0
DN500	0.5	0.374	0

Hierin staat in de kolom 'lengtedeelsec' de gemiddelde percentages van de totale lengte van de netwerken voor elke diameter. Deze waarden gelden voor een hoge temperatuur netwerk.

Dit zelfde kan ook voor primaire netwerken gedaan worden.

De bovenstaande tabel samen met de waarden voor het secundaire netwerk zijn opgenomen in de database in de tabel “WarmteNetwerk” en kunnen, wanneer nieuwe gegevens beschikbaar zijn, eenvoudig worden aangepast.

Om nu uit te kunnen rekenen welke lengte bij welke U-waarde hoort, is alleen nog de lengte van het primaire en het secundaire warmtenet nodig. Deze kunnen in het programma handmatig worden ingevoerd. Het programma kan ook de minimale lengte berekenen. Voor deze berekening zie Bijlage A.

3.2.3 *Netwerkkeuze*

In het model kan gekozen worden voor drie typen warmtenetwerken. Een hoge, midden of lage temperatuur netwerk. Deze netwerken hebben de volgende aanvoer en retourtemperaturen:

hoge temperatuur: 90°C en 40°C

midden temperatuur: 70°C en 50°C

lage temperatuur: 40°C en 30°C

De waarden in de tabel met U-waarden voor de verschillende diameters van leidingen met de daarbij behorende percentages van totale netwerklengte, gelden voor een hoge temperatuur netwerk. Wanneer gekozen wordt voor een midden temperatuur netwerk, zullen de leidingdiameters van de verschillende delen van het netwerk, die nodig zijn om dezelfde hoeveelheid warmte te kunnen transporteren, één Din-maat toenemen. Hierdoor veranderen dus ook de U-waarden die bij de verschillende lengte percentages horen. Wanneer voor een lage temperatuur netwerk gekozen wordt, nemen de diameters twee Din-maten toe.

De aanvoer- en retourtemperaturen zijn aflevertemperaturen en gelden voor het secundaire netwerk. Omdat tussen het secundaire en het primaire netwerk nog een warmtewisselaar zit, gelden voor het primaire netwerk een iets andere temperaturen. Over een warmtewisselaar staat namelijk een temperatuursverschil om de warmte van het primaire deel naar het secundaire deel te laten stromen. Deze zogenaamde Delta T is in de tabel “Onderstation” van de database opgenomen.

3.2.4 *De installatie*

In de database staat een tabel “InstallatieCollectief”. Hierin staan de volgende relevante gegevens:

Het rendement voor de warmte-opwekking. Deze is voor de meeste installaties afhankelijk van de leverings- en retourtemperatuur van het warmtenetwerk. In de tabel is er echter maar één veld voor het warmterendement. Daarom moet in de kolom “type” en in de beschrijving duidelijk staan voor welke temperatuur de installatie bedoelt is.

Het rendement van de elektriciteitsopwekking. Deze is alleen relevant voor wk-installaties.

De hulpenergie. Dit is de hoeveelheid elektrische hulpenergie per hoeveelheid opgewekte warmte.

Is de installatie elektrisch “aangedreven” of niet. Zo niet, dan verstookt de installatie gas.

Is de installatie gebouwgebonden.

Als de installatie gebouwgebonden is, dan worden het warmterendement en het elektrisch rendement gebruikt om bij de EPC-berekening de compensatie voor elektriciteitsopwekking te berekenen zoals beschreven in bijlage D.4.2 van NEN 5128.

De hoeveelheid energie (gasvormig of elektrisch), die in de installatie gaat, wordt bepaald door de bruto warmtevraag en het warmterendement van de installatie.

Indien het rendement van de elektriciteitsopwekking ongelijk aan nul is, dan wordt de hoeveelheid opgewekte elektrische energie bepaald door de hoeveelheid energie die in de installatie gaat, zoals hierboven berekend, en het elektrisch rendement van de installatie.

Als er warmteopslag op energiezonenniveau is, wordt de warmte die hierin opgeslagen is op dezelfde manier gebruikt en verrekend als beschreven bij de installatie op woningniveau.

De warmtewisselaars in de woning hebben een rendement van 98%. Dit rendement komt uit de literatuur [Boekema, 28/3/2002, Novem, 2000b].

3.2.5 *Duurzame energie*

Zonnecollectoren

De opbrengst van collectoren op energiezone niveau worden op de zelfde wijze berekend als de opbrengst van de collectoren voor tapwater binnen NEN 5128. Hierin is het volgende verschil gemaakt:

Het collectorrendement wordt niet afgeleid van tabel 21 uit NEN 5128, maar wordt als een vast waarde uit de database genomen.

De reden hiervoor is de volgende: In tabel 21 is het rendement van de collector afhankelijk van de opbrengst van de collector en de vraag naar warm tapwater. De reden hiervoor is, dat vraag en aanbod niet altijd gelijktijdig zijn. Bij naar verhouding grote collectoren, en daarbij behorende opbrengst van warm water, zal bij een kleine vraag veel van de geproduceerde warmte niet gebruikt worden. Hierdoor daalt het rendement van de collector.

Omdat bij collectieve zonnecollectoren een opslagsysteem hoort, is het rendement niet afhankelijk van de verhouding in opvallende zonne-energie en de warmtevraag van de woningen. Daarom zal het rendement een vaste waarde hebben.

Dit jaarrendement is, net als het jaarrendement in NEN 5128, de omrekeningsfactor om van ingevallen zonnestraling tot een warmteopbrengst te komen.

Opslag

Opslag op energiezonenniveau worden uit de database gekozen. Daarin staat het rendement van de opslag, de maximale putcapaciteit en de hoeveelheid elektrische hulpenergie per mogelijk te leveren hoeveelheid warmte. Dit is de maximale hoeveelheid warmte die uit de opslag gehaald kan worden, net als bij lokale opslag.

In de opslag wordt de opbrengst van zonnecollectoren op energiezonenniveau en de netto warmtelevering van de woningen gestopt. Voor beide is een transportverlies van 10% gekozen [TNO-TPD, 1987].

Na aftrek van de transportverliezen wordt de geleverde warmte uit de woningen en de collectoren gecorrigeerd met het rendement van de opslag. Dit is de hoeveelheid warmte die nog gebruikt kan worden. Dit getal mag niet groter zijn dan de capaciteit van de opslag maal het aantal putten/doubletten.

3.3 **De wijk**

Op wijkniveau worden de volgende keuzes gemaakt:

- Het zichtjaar. Dit heeft invloed op het energiegebruik voor reiniging. Zie: de paragraaf 3.1.3, kopje: Reinigingsapparatuur en de ERE waarde en CO₂-emissie van elektriciteit.
- Het dichtstbijzijnde weerstation. Hiervan is de windsnelheid afhankelijk die gebruikt wordt om de opbrengst van windmolens te berekenen (database, tabel "Meteo")
- Het aantal energiezones
- Het oppervlakte van de energiezones. Hierdoor verandert de woningdichtheid, wat invloed heeft op een eventueel warmtenetwerk.
- De brandstof. Hier kan een brandstof uit de tabel "Brandstof" van de database gekozen worden. Bij een brandstof hoort een ERE-waarde. Dit heeft invloed op de hoeveelheid primaire energie die gebruikt wordt bij verbranding van deze brandstof en op de CO₂-emissie.
- De lengte van een warmtetransportleiding, zie paragraaf 3.3.1.
- De energiecentrale. Dit is de warmteleverancier voor de energiezones, die hier naar toe verwijzen, zie paragraaf 3.3.2.
- De aanwezige energieinfrastructuur. Op energiezonenniveau kan hiervan worden afgeweken.
- Het type windmolen en het aantal hiervan, zie paragraaf 3.3.3
- Het type PV en het oppervlak en de oriëntatie hiervan, zie paragraaf 3.3.3

3.3.1 *Leidingnetwerken*

De lengte hiervan die opgegeven moet worden is de lengte vanaf de energiecentrale tot aan de wijk. Hierbij moeten ook de stukken die binnen de wijk naar het dichtstbijzijnde onderstation van de energiezones lopen, worden meegeteld.

De diameter van deze transportleiding is afhankelijk van de hoeveelheid energie die getransporteerd moet worden en wordt op de volgende manier berekend:

Van de woningen staat de aansluitwaarde in de database. Dit is de vermogensvraag van de woning nodig om de woning warm te kunnen stoken. Deze komen uit het handboek warmtedistributie van de NOVEM [Bussel 1996]. Omdat nooit alle woningen tegelijkertijd dit volledige vermogen nodig hebben, geldt voor een de energiezone een aansluitwaarde richting de energiecentrale die gelijk is aan de som van alle aansluitwaarden binnen de energiezone maal een gelijktijdigheidsfactor. Deze is conform de waarde uit het NOVEM handboek op 0,65 gesteld. De aansluitwaardes van de energiezones worden ook weer gesommeerd en met een gelijktijdigheidsfactor vermenigvuldigd om het vermogen dat door de transportleiding moet kunnen te kunnen bepalen. Deze gelijktijdigheidsfactor is 0.60 en komt ook uit het handboek warmtedistributie van de NOVEM [Bussel 1996].

Om dit vermogen te kunnen transporteren is een aantal kubieke meter water per seconde nodig; de zogenaamde flow. Deze flow wordt op de volgende manier berekend:

$$\text{flow} = P / (\rho * c * \Delta T)$$

waarin:

P: het te transporteren vermogen in Watt

ρ : de soortelijke dichtheid van water in kg/m³

c: de soortelijke warmte van water in c

ΔT : het temperatuursverschil van aanvoer en retour water in Kelvin.

Tevens geldt:

$$\text{flow} = \frac{1}{4}\pi d^2 \cdot v$$

waarin:

d: de diameter van de leiding in meter

v: de stroomsnelheid van het water in m/s.

Hieruit volgt voor d:

$$d = \text{SQRT}(\text{flow}/(v \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi))$$

Hierbij zijn de volgende waardes gebruikt:

$\rho = 977 \text{ kg/m}^3$: De dichtheid van water bij 70°C. Dit is de gemiddelde temperatuur van het water bij een hoge temperatuur netwerk

$c = 4,2 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$

$v = 3,0 \text{ m/s}$: De maximale stroomsnelheid die gebruikt wordt in transportleidingen. Bij hogere snelheden kan geluid in de leidingen ontstaan, dat erg storend is in de aangesloten woningen. [Jansen, 27/5/2002].

De diameter die op deze manier uitgerekend is, is de minimale diameter die noodzakelijk is om het gevraagde vermogen te transporteren. Daarom wordt uit de tabel “Warmtenetwerk” van de database de leiding gekozen met de dichtstbijzijnde diameter die groter of gelijk is. De hierbij behorende U-waarde wordt gebruikt om het energieverlies over de transportleiding uit te beschrijven zoals in de paragraaf “De leidingverliezen in het warmtenetwerk” uit “De energiezone”

3.3.2 *De energiecentrale*

In de database staat een tabel “Energiecentrale”. Hierin staan de volgende relevante gegevens:

Het rendement voor de warmte-opwekking. Deze is voor de meeste installaties afhankelijk van de leverings- en retourtemperatuur van het warmtenetwerk. In de tabel is echter maar één veld voor het warmterendement. Daarom moet in de kolom “type” en in de beschrijving duidelijk staan voor welke temperatuur de installatie bedoelt is

Het rendement van de elektriciteitsopwekking. Deze is alleen relevant voor wk-installaties.

Is de installatie elektrisch “aangedreven” of niet. Zo niet, dan verstookt de installatie gas

Is de installatie een warmtepomp.

De hoeveelheid energie (gasvormig of elektrisch), die in de installatie gaat, wordt bepaald door de bruto warmtevraag en het warmterendement van de installatie.

Indien het rendement van de elektriciteitsopwekking ongelijk aan nul is, dan wordt de hoeveelheid opgewekte elektrische energie bepaald door de hoeveelheid energie die in de installatie gaat, zoals hierboven berekend en het elektrisch rendement van de installatie.

Wanneer er sprake is van het gebruik van afvalwarmte van bijvoorbeeld een elektriciteitscentrale of uit de industrie dan wordt de energie en de, bij de productie van de warmte gepaard gaande, CO₂-emissie niet toegekend aan de wijk aan welke de

warmte wordt geleverd. Er is slechts sprake van afvalwarmte indien deze warmte, voordat de wijk gebouwd wordt, wordt geloosd op bijvoorbeeld oppervlakte water.

3.3.3 *Duurzame energie*

Windmolens

Van de windmolens staan in de tabel "Windmolens" van de database de volgende gegevens:

de ashoogte
de diameter

Aan de hand van deze gegevens en de windsnelheid, die uit de tabel "Meteo" komt, wordt de opgewekte hoeveelheid elektriciteit berekend.

De windsnelheid die in de tabel "Meteo" staat, is de windsnelheid op 10 meter hoogte. Deze moet eerst omgerekend worden naar de windsnelheid op ashoogte. Dit gaat op de volgende manier:

$$v_h = v_{10} * (10^{\log(h_{as}/ruwheid)} / (10^{\log(10/ruwheid)}))$$

waarin:

v_h : de windsnelheid op ashoogte
 v_{10} : de windsnelheid op 10 meter hoogte
 h_{as} : de ashoogte van de molen
ruwheid: de ruwheid van het omliggende landschap.

Er is gekozen voor een ruwheid van 0,3. Dit is de ruwheid van bouwland. De molens worden tenslotte niet in de woonwijk zelf geplaatst, maar meestal een eind er vandaan of aan de rand. Een lagere ruwheidsfactor geldt voor open water. De meeste wijken worden ook niet aan open water gebouwd [Meijer, 2001].

Met de windsnelheid op ashoogte kan nu de opbrengst van de windmolen berekend worden. Dit gaat met de volgende formule:

$$E_{molen} = Beurskens * v_h^3 * \pi * (d/2)^2$$

waarin:

E_{molen} : De elektriciteitsopbrengst van de molen kWh
d: De diameter van de rotor in meter

Beurskens: De Beurskensfactor. Dit is een factor waarin een groot aantal constanten verwerkt zijn [Leijendeckers, et al. 2002 en Beurskens, 11/9/2002].

Vermenigvuldiging met het aantal molens en met 3,6 levert de totale elektriciteitsopbrengst van alle molens tezamen in MegaJoule.

PV

PV-panelen op wijkniveau kunnen bijvoorbeeld panelen op geluidswering zijn. De berekening van de opbrengst is gelijk aan die op energiezonenniveau.

4 Kosten

4.1 Inleiding

Alle genoemde kosten in dit hoofdstuk zijn indicatief, welk in specifieke gevallen kunnen afwijken van de praktijk. Er is geen rekening gehouden met opbrengsten uit (groen)beleggingen en (MEP²⁶) subsidies, om onduidelijkheden en/of onzekerheden in het kosten aspect zoveel mogelijk te voorkomen. De bedragen zijn exclusief belasting, tenzij anders vermeld.

In de beginfase van een nieuwbouwproject kunnen bij de gebruiker(s) van het model (misschien) bepaalde aspecten omtrent inpassing van de energievoorziening van de nieuwe woonwijk in het omringende energienet onbekend zijn. Hierbij kan worden gedacht aan hoe, of en waar aansluiting kan plaatsvinden op de bestaande energieinfrastructuur, zoals gas en elektriciteitsnetten, warmtenetten en verdeel- of overdrachtstations.

Bijkomend, is het ook moeilijk inschatbaar wat de lengte van het distributienet buiten het plangebied moet zijn. Immers een net moet bijvoorbeeld ruimtelijk en technisch inpasbaar zijn in het omringende gebied. Doordat aan verdeel-, overdrachtstations en het distributienet wel hoge investeringskosten zijn verbonden, kan door de onbekendheid/onzekerheid van bovenstaande factoren een onjuiste afweging van de keuzeropties plaatsvinden. Daarom worden de investeringskosten voor infrastructuur buiten het plangebied niet (expliciet) meegenomen, zie paragraaf 4.2.3.

De kosten voor apparaten en voorzieningen kunnen aanzienlijk verschillen op basis van type, leverancier, locatieeigenschappen plangebied, etc.. Evenals bij de energieprijzen is getracht hier zo goed mogelijk aan te gemoed te komen door op basis van een inventarisatie gemiddelde prijzen te hanteren in het model. In deze rapportage wordt (indien mogelijk) aangegeven binnen welke range de kosten ongeveer zullen liggen.

4.2 Distributiesysteem

De weergegeven kosten en opbouw van het aardgas/elektriciteit distributiesysteem zijn grotendeels ontleend aan het document Energievisie Malburgen [Verlinden en Fellendans, 13/5/1998] en de Syrenestudie Infrastructuur Brandstoffen; Distributie van energiedragers [Boels et al., 30/11/1994]. Echter in de praktijk kunnen er per specifieke situatie varianten in de gehanteerde opbouw mogelijk zijn.

Navraag bij de heer Bongaerts (Continuon Netbeheer) levert op dat na correctie voor de inflatie²⁷ de kosten voor het aardgas- en elektriciteitsdistributiesysteem in Energievisie Malburgen representatief zijn voor de huidige situatie (mededeling Bongaerts, 12/12/2002). Ter vergelijking is voor de informatie uit de Syrenestudie ook gerekend met een inflatiefactor.

In de hierna volgende paragrafen worden de kosten van de verschillende distributiesystemen kort besproken.

²⁶ MEP=Milieukwaliteit Elektriciteitsproductie.

²⁷ Inflatiefactor is ingesteld op ca. 1.14 sinds 1998 en 1.20 sinds 1994. Dit op basis van geharmoniseerde prijsindexcijfers van het CBS [CSB, 52-2003].

4.2.1 *Elektriciteit*

De kosten van het distributiesysteem elektriciteit bestaan uit een huisinstallatie (elektriciteitsmeter, dienst/stijg-leidingen), wijkdistributie (LS-net, 400 Volt), distributiestation (10kV/400V) en wijktransport (10kV).

Distributieleidingen

De kosten voor het LS-net en wijktransportnet en komen op ca. 16 €/m. De begrotingskosten voor het 10 kV wijktransportnet liggen in de buurt van 57 €/m [Verlinden en Fellendans, 13/5/1998]. Dit is inclusief leggen, maar zonder bijzondere werkzaamheden²⁸.

Distributiestation

De investeringskosten voor een distributiestation (10kV-trafohuisje) zijn geraamd op ongeveer €38844,- [afgeleid uit Verlinden en Fellendans, 13/5/1998]. Hierbij kunnen, geldt eveneens voor stations bij aard-/H₂-gas en warmte, eventuele aanvullende architectonische eisen voor (aanzienlijke) meerkosten zorgen. Deze kosten kunnen oplopen tot 20000 à 25000 euro per station [Boels et al., 30/11/1994].

Eenmalig aansluittarief

Het eenmalige aansluittarief ligt ongeveer tussen €450,- en €700,- per aansluiting. Dit is gebaseerd op de gepubliceerde gegevens van de energiebedrijven op de site van Nederlandse Mededingingsautoriteit, waartoe ook de DTe behoort [www.nma-dte.nl].

Periodieke kosten

De periodieke kosten bestaan uit:

- Vastrecht²⁹
- Energieprijs.

Vastrecht

Het vastrecht ligt over het algemeen tussen €60,- en €75,- per jaar (internetsites energiebedrijven). In het model wordt uitgegaan van €7,50 per jaar per aansluiting.

Energieprijs

Bij de variabele kosten kan onderscheid worden gemaakt in zogenaamde “grijze” en “groene” stroom. Omdat veel energiebedrijven de prijs voor beide hebben gelijk getrokken (na de invoering van de REB op groene stroom), zal ook in het model voor beide hetzelfde tarief worden gehanteerd. Het tarief verschilt per energiebedrijf, maar ligt ongeveer binnen de volgende waarden: 0.07 - 0.12 €/kWh. Dit is exclusief REB en BTW. Inclusief alle belastingen komt het gemiddelde tarief kleinverbruikers op ca. 0.19 €/kWh. Een overzicht van de gehanteerde kosten in het model staan in **Tabel 6**.

²⁸ Bij zondere werkzaamheden zijn bijvoorbeeld boringen onder snelwegen en rivieren e.d.

²⁹ Vastrecht: het bedrag per maand of jaar dat aan aangeslotenen in rekening wordt gebracht ter dekking van de transportonafhankelijke kosten, zoals databeheer, meteropname, administratiekosten, etc.

Tabel 6: Overzicht kosten distributiesysteem elektriciteit.

Onderdeel	Prijs	Eenheid
Eenmalige aansluitkosten	575	€/woning
Vastrecht	67.5	€/jaar
Variabele kosten	0.19	€/kWh
LS-net (400 Volt)	16	€/m
Distributiestation	38844	€/stuk
Wijktransport (10 kV)	57	€/m

4.2.2 Aardgas

De kosten voor het aardgasdistributiesysteem zullen in het model bestaan uit een huisinstallatie (gasmeter en dienst/stijgleidingen), lage druknet (LD-net, overwegend polyethyleen leidingen), hoge/midden druknet (HD/MD-net)³⁰ en een distributiestation tussen het LD en HD/MD- net.

Distributieleidingen

In Energievisie Malburgen liggen de gemiddelde kosten op ca. 97 €/m [Verlinden en Fellendans, 13/5/1998]. In de Syrenestudie wordt een bredere range gehanteerd, namelijk 40 – 137 €/m [Boels et al, 30/11/1994]. Waarschijnlijk zal de lage waarde corresponderen met het MD-net en de hoge prijs met het HD-net. Voorgaande kosten zijn exclusief bijzondere werkzaamheden.

In het model bedragen de begrotingskosten voor het MD/HD-net 88.5 €/m.

Distributiestation

Een distributiestation kost (globaal) tussen €27374,- en €4748,- per stuk, afhankelijk van de capaciteit [Boels et al., 1994]. Tevens hangen de kosten af van eventuele aanvullende architectonische eisen en de ruimtelijke inrichting van het gebied i.v.m. de maximaal toegestane drukval. In Energievisie Malburgen liggen de kosten voor een distributiestation (2500 m³/h) op ca. 43376 euro. De modelkosten komen op €42000,- per station.

Eenmalig aansluittarief

De aansluitkosten bestaan uit een standaard gasmeter, dienstleiding en eventueel een stijgleiding. Aangenomen is, dat deze kosten gemiddeld³¹ ca. €675,- per aansluiting zijn.

Vastrecht

Het vastrecht is ontleend aan de gegevens op de websites van de verschillende energiebedrijven. Deze verschillen per leveringsgebied van ca. €8 – €125 per aansluiting per jaar. In het model is het vastrecht €89,- per aansluiting per jaar.

³⁰ In het model zullen de kosten voor het MD/HD-net voor de eenvoud worden samengevoegd. Het is namelijk mogelijk dat een LD-net zowel gekoppeld is aan een MD-net als een HD-net via een verdeelstation in de wijk. Dit o.a afhankelijk van het type en aantal afnemers met een groot verbruik en de situering in het plangebied.

³¹ In het rapport van Verlinden en Fellendans (13/5/1998) wordt onderscheid gemaakt in verschillende type woningen. Hiervan is het gemiddelde genomen en voor inflatie gecorrigeerd.

Energieprijs

De prijzen liggen tussen ca. 0.20 – 0.30 €/m³, exclusief REB en BTW. Inclusief belastingen komen de kosten op 0.45 €/m³ aardgas³². Een overzicht van de gehanteerde kosten in het model staan in **Tabel 7**.

Tabel 7: Overzicht kosten distributiesysteem aardgas.

Onderdeel	Prijs	Eenheid
Eenmalige aansluitkosten	675	€/woning
Vastrecht	89	€/jaar
Variabele kosten	0.45	€/m ³
LD-net	25.4	€/m
Distributiestation	42000	€/stuk
MD/HD-net	88.5	€/m

4.2.3 *Warmte*

In het model wordt uitgegaan van een situatie met individueel warmtapwater bereiding (ITW). Dit betekent dat er alleen een cv net aanwezig is in de woonwijk met zowel een aanvoer als retourleiding³³. Bij warmtenetten is sprake van primaire/transport en secundaire leidingen (zie paragraaf 3.2.2).

In de meterkast van de woning is een set geplaatst die door middel van een warmtewisselaar warmtapwater bereidt, al dan niet in combinatie met een boiler/buffervat systeem.

Afhankelijk van het thermostatische (temperatuur-) regelsysteem in de woning is er ook een (gemotoriseerde) regelafsluiter voor het verwarmingssysteem aanwezig.

In de wijk staan onderstations (o.s.). Er zijn voor de eenvoud geen warmte overdrachtstations (w.o.s) opgenomen (bijvoorbeeld tussen transportleiding en primaire leiding). Deze blijken in de praktijk ook niet altijd aanwezig.

Bij warmte is sprake van een tariefstructuur die is afgeleid van aardgas (Bijlage C).

Distributieleidingen

Om leidingverliezen zoveel mogelijk te voorkomen, wordt uitgegaan van voorgeïsoleerde leidingen³⁴ uit het zogenaamde “Logstor”-programma (www.logstor.com). Uit een mailing met dhr.Sloof (21/06/2002) bleek dat er geen verschillen waren in de materiaal kosten van voorgeïsoleerde “traditional” en “continuously” gefabriceerde leidingen van staal. Er wordt uitgegaan van “traditional” gefabriceerde leidingen. Deze leidingen zijn in drie verschillende isolatieseries te krijgen. Isolatieserie 3 heeft de beste isolatieeigenschappen. De series 1 en 2 komen ongeveer overeen in kosten en daarom is gekozen voor de serie 2 en 3. Data van beide series zijn opgenomen in de database in het model, maar alleen serie 2 wordt meegenomen bij de berekening. Als aanbeveling ter uitbreiding van het model zou ook

³² 0.45€/m³ komt overeen met $(0.45/31.65)*1000 = 14.23$ €/GJ (1m³ aardgas komt overeen met 31.65MJ (o.w.)).

³³ Centraal tapwaterlevering (CTW) wordt tegenwoordig nauwelijks meer toegepast, vanwege de hogere kosten. Er is namelijk een relatief grote (koperen) aanvoerleiding nodig (en kleinere retour), terwijl bijvoorbeeld de warmtevraag voor ruimteverwarming afneemt door de eisen voor de EPN (mededeling van der Weiden, 03/06/2002 en Jansen, 06/2002).

³⁴ Voorgeïsoleerde staal-leidingen van het type Continuously/Traditional gefabriceerd, bestaan uit een zogenaamde “carrier” pipe en een “jacket” pipe. Tussen beide leidingen is een isolatielaag aangebracht van polyurethaan (“PUR-schuim”). Het leidingmateriaal kan verschillen per type leiding (meer informatie op www.logstor.com).

serie 3 als keuzeoptie voor de gebruiker toegevoegd kunnen worden. In Bijlage D is een overzicht gegeven van de kosten voor serie 2 en 3. Aangenomen is dat aanvoer en retourleiding ongeveer evenveel kosten en in dezelfde sleuf worden gelegd.

Op basis van informatie uit het document Warmtedistributie (van Bussel, 05/1996) is een schatting gemaakt van de kosten voor het leggen en lassen van het warmtenet voor bovengenoemde leidingen. Gemiddeld zijn de meerkosten voor het lassen en leggen (exclusief bestrating) en 20 cm grondverbetering rondom de leidingen ongeveer een factor 1.55 (55%) hoger (range 1.41 – 1.75) t.o.v. de investering voor het leidingmateriaal (inclusief bochten, T-stukken, afsluiters, etc.). Der range wordt veroorzaakt door de relatief hoge kosten voor het leggen, lassen en grondverbetering voor leidingen met kleine diameters in vergelijking met grote diameters (zie Bijlage D).

Distributiestation

Volgens dhr. Jansen (mededeling, 18/12/2002) zijn de kosten voor een onderstation (o.s.) erg afhankelijk van het type. Bij centraal warmtapwaterlevering is er sprake van complexe o.s. en daardoor duur. Na standaardisatie liggen de kosten tussen 80 en 90*P, waarbij P standaard 3000 kW is (voor 300 - 400 woningen). De prijs is erg afhankelijk van de technische inhoud (besturingssysteem, e.d.). Eenvoudiger systemen zijn goedkoper.

Bij individuele tapwaterbereiding (in het model de enige optie) is het o.s. eenvoudiger, waarbij de begrotingskosten ca. 50*P bedragen (P standaard 4000 kW, 300 - 400 woningen).

Voor o.s. in hoogbouw of bij primair aangesloten verbruikers gelden andere getallen. Door de grote diversiteit en soms geringe aantal kW's zijn hierbij de begrotingskosten erg specifiek per project. Er wordt gewerkt aan enige standaardisatie bij dit soort o.s. (mededeling Jansen, 18/12/2002).

Volgens de Novem website voor warmtelevering [www.warmtelevering.novem.nl] liggen de kosten globaal tussen 68000 en 136000 euro. Door aanvullende architectonische eisen aan een o.s. in de wijk kunnen de kosten oplopen.

De gehanteerde begrotingswaarde in het model voor een standaard (4000 kW, 300-400 woningen) o.s. bij ITW is 200000 euro (50*4000).

Eenmalig aansluittarief

De aansluitkosten (stichtingskosten) bestaan uit een regelsysteem (tapwater/cv), dienst/stijgleidingen en een warmtemeter (zie **Tabel 8**).

Tabel 8: overzicht aansluittarief warmte.

Apparatuur	Bronnen	Indicatie kosten (€) per aansluiting
Universeel Regelset (URS) (cv + tapwater 8 liter/min, incl.dubbelwandige tapwaterwisselaar)	Mededeling Sprekels-Dado (4/12/02) Mededeling A. Qualm (27/11/02)	1000 Alleen regel/afsluiter set cv: 110 euro (geen w.wisselaar, boiler,etc)
Warmtemeter (Type 2WR5 qp=1.5m3/u)	Mededeling van Niekerk (4/12/02)	150
Dienstleiding/stijgleiding	Schatting op basis van van Bussel (05/96) en mededeling energiebedrijf	1000
Totaal		2150

Indien rekening wordt gehouden met eventuele schaalvoordelen op projectbasis of dat meestal de warmtemeter wordt gehuurd van het energiebedrijf, komen de eenmalige aansluitkosten op ca. €2000,- per woningaansluiting.

Vastrecht

De tarieven voor het vastrecht variëren ongeveer tussen 160 - 287 €/jaar (bron: internetsite energiebedrijven). In het model is het tarief €24,- per jaar.

Variabele kosten

De eindverbruikersprijzen liggen over het algemeen tussen 19 - 21 €/GJ (incl. BTW) afgenomen warmte (diverse internetsites energiebedrijven). De gehanteerde waarde in het model bedraagt €20,- per afgenomen GJ warmte.

In **Tabel 9** is een samenvatting gegeven van de gehanteerde waarden in het model bij warmtedistributie.

Tabel 9: Overzicht kosten distributie warmte.

Onderdeel	Prijs	Eenheid
Eenmalige aansluitkosten	2000	€/woning
Vastrecht	224	€/jaar
Variabele kosten	20	€/GJ
Distributiestation	200000	€/stuk

4.2.4 *Waterstof*

In het model zal voor een waterstof infrastructuur in de woonwijk dezelfde opbouw worden gehanteerd als bij aardgas. Dus een onverdeling in een huisinstallatie, LD- en MD/HD-leidingen in de wijk, die van elkaar zijn gescheiden via een distributiestation.

Distributieleidingen

De kosten voor distributieleidingen lopen uiteen. De totale investeringskosten (in stedelijke gebieden) voor een leidingdiameter van 3-6 inch (0.0762 – 0.15 m) zijn ca. 1000000 \$/mile (ca. 621 €/m) [Ogden, 1999 en Amos, 1998]. In dunbevolkte gebieden zijn de kosten over het algemeen lager; 250000 \$/mile (ca. 155 €/m) [Ogden, 1999]. Hiervan bestaat 15-20% van de totale investeringskosten voor een pijpleiding uit werkzaamheden m.b.t. de pijpleiding en is 15-20% “engineering” kosten. Het betreft hier een pijpleiding in een relatief vlak gebied (Ogden, 1999).

De kosten voor leidingmateriaal liggen hoger dan bij aardgas door het gebruik van bijvoorbeeld waterstof resistente leidingen³⁵ (“embrittlement-resistant” steels) (Ogden, 1999).

In “Evaluation of benefits and barriers of hydrogen in residential districts” [Tillemans en de Groot, 02/2002] is de aanname gemaakt dat een waterstof distributienet ongeveer tweemaal zoveel gaat kosten dan een aardgasnet.

Voor de eenvoud en bij gebrek aan beter onderbouwd cijfermateriaal wordt ook in dit onderzoek aangenomen dat de kosten voor een waterstofdistributienetwerk ca. een factor twee hoger liggen dan bij een aardgasnetwerk.

Dus voor een LD-net worden de kosten €50.80 per meter sleuf en bij een MD/HD-net komen de kosten daarmee op €177,- per meter sleuf.

Distributiestation

Vanwege o.a. hogere veiligheidseisen, meer compressor vermogen en aanpassingen qua apparatuur en appendages e.d. is aangenomen dat distributiestationen ongeveer 1.5 tot 3 maal duurder zijn dan bij aardgas. In de Syrenestudie Infrastructuur Brandstoffen [Boels et al., 1994] is uitgegaan van een factor 1.5 maal duurder dan een vergelijkbaar gasdistributiestation. In Ogden (1999) staat dat ca. 3 maal zoveel compressor vermogen nodig is om dezelfde hoeveelheid energie te transporteren dan bij aardgas. In het model kost een distributiestation met in achtname van bovenstaande €4500,- (€2000*2.25).

Eenmalig aansluittarief

In Boels et al. (30/11/1994) wordt een inschatting gemaakt van de kosten voor een huisinstallatie (gasmeter, dienst en stijgleidingen) bij waterstof als energiedrager.

De huidige dienst en stijgleidingen voor aardgas in woningen zijn (over het algemeen) reeds van koper of staal en afgezien van misschien een relatief klein aantal aanpassingen geschikt voor transport van waterstof. Aangenomen wordt dat deze aanpassingen geen noemenswaardige meerkosten opleveren in vergelijking met levering van aardgas. De huidige balgasmeters zijn niet geschikt voor waterstof en dienen daardoor vervangen te worden. De meerkosten bij massaproductie zijn geschat op 50% (ca. €50,-) [Boels et al., 1994].

De totale eenmalige aansluitkosten voor waterstof komen daarmee op ongeveer €725,- per woning (€675 aansluitkosten aardgas + €50 extra gasmeter per aansluiting).

Vastrecht

Het vastrecht is gelijk aan aardgas gesteld, doordat wordt aangenomen dat de transportafhankelijke kosten vergelijkbaar zullen zijn.

³⁵ Aanwezigheid van waterstof kan leiden tot verhoogde kans op scheuring onder invloed van hoge druk en interactie met het metaal. Dit kan o.a. voorkomen worden door pijpleidingen te voorzien van een coating of door kleine hoeveelheden CO, SO₂, O₂ of andere gassen toe te voegen [Ogden, 1999].

Energieprijs

Bij een vergelijking tussen aardgas en waterstof, liggen de totale transportkosten (inclusief compressie) via pijpleiding voor waterstof ca. 1.5 - 3 maal hoger dan bij een vergelijkbare pijpleiding met aardgas [Ogden, 1999].

De energieprijs ligt globaal tussen 7.37 €/GJ en 26.96 €/GJ afgenomen waterstof. Dit is gebaseerd op 1.5 – 3 maal hogere transportkosten voor waterstof in vergelijking met aardgas, gelijkblijvende onderhoudskosten als bij aardgas en een H2 productieprijs (grootschalig) die op basis van steam-reforming ca. 5 - 8\$/GJ bedraagt [Ogden, 1999]. De kleinverbruikersprijs komt hiermee op ongeveer 18.73 €/GJ afgenomen³⁶ (inclusief BTW).

Deze kosten zijn exclusief het opslaan van waterstof en afvangen en opslaan van CO2. Bovendien is geen rekening gehouden met eventuele Regulerende Energiebelasting op waterstof (zie **Tabel 10**).

Tabel 10: Overzicht kosten distributie waterstof.

Onderdeel	prijs	Eenheid
Eenmalige aansluitkosten	725	€woning
Vastrecht	89	€jaar
Variabele kosten	18.73	€/GJ
Distributienet (LD)	50.76	€m
Distributiestation	94500	€stuk
Distributienet (MD/HD)	177	€m

4.2.5 *Aardgas met maximaal 15% waterstof bijgemengd*

Er wordt uitgegaan van een systeemopbouw zoals deze ook voor aardgas aanwezig is. Tevens wordt de aanname gemaakt dat gebruik kan worden gemaakt van de bestaande aardgasdistributienet, stations en huisinstallatie zonder dat noemenswaardige aanpassingen hoeven plaats te vinden. De kosten voor het leidingnet en de aansluitkosten zullen daarom in het model gelijk zijn aan die van aardgas.

De variabele kosten zullen wel hoger liggen dan bij aardgasdistributie, bijvoorbeeld vanwege het mengen en de productie van waterstof. Aangenomen is dat het tarief voor per GJ afgenomen mix voor 85% zal bestaan uit de gehanteerde variabele kosten bij aardgas en 15% voor waterstof. De variabele kosten komen hiermee op ca. 15 €/GJ afgenomen³⁷ mengsel (zie **Tabel 11**).

³⁶ Uitgaande van een inkoopprijs (eindverbruikersprijs zeer grote afnemers/grootverbruikers) van aardgas van ca. 0.13 €/m³ (exclusief BTW en REB) en 31.65MJ/m³ (o.w.) wordt de prijs ca. 4.11 €/GJ afgenomen. Gemiddeld 2.25 maal hogere transportkosten $((1.5+3)/2=2.25)$ i.v.m. aardgas. Productiekosten op basis van steam reforming bedragen ca. 6.5 €/GJ. Totale eindverbruikersprijs komt hiermee op $(4.11*2.25)+6.5=15.74$ €/GJ (excl. BTW en REB).

³⁷ Prijs mix: $(0.85*14.23)+(0.15*18.73)=15$ €/GJ afgenomen.

Tabel 11: Overzicht kosten distributie aardgas met 15% waterstof bijgemengd.

Onderdeel	prijs	Eenheid
Eenmalige aansluitkosten	675	€woning
Vastrecht	89	€jaar
Variabele kosten	15	€GJ
Distributienet (LD)	25.4	€m
Distributiestation	42000	€stuk
Distributienet (MD/HD)	88.5	€m

4.3 Apparaten, isolatie en andere voorzieningen

4.3.1 Hotfill-aansluiting en gasstopcontact

Hotfill en gasstopcontacten ten behoeve van hotfill vaatwasser/wasmachine en gasverwarmde wasdroger kunnen bij nieuwbouw worden gerealiseerd of in de gebruiksfase. Realisatie achteraf kost over het algemeen meer dan bij nieuwbouw.

In het rapport van Menkveld et al. (02/2002) wordt onderscheid gemaakt in kosten bij 3 type woningen, namelijk tuinkamerwoning, 2-onder-1 kap en galerijflat. Bij nieuwbouw zijn de kosten voor alle drie de typen hetzelfde. In **Tabel 12** is een overzicht gegeven van de kosten voor hotfill en gasstopcontactaansluiting(en) in woningen.

Tabel 12: Indicatie kosten hotfill-aansluiting en gasstopcontact (M. Menkveld et al., 2002).

Type aansluiting	Fase	Kosten (€)
Hotfill vaatwasser/wasmachine	Vorbereiding nieuwbouw	40
	Realisatie gebruiksfase	130
Gasaansluiting gasverwarmde wasdroger	Vorbereiding nieuwbouw	60
	Realisatie gebruiksfase	110

De afschrijftermijn van de kosten in het model bedraagt 50 jaar. Hierbij is uitgegaan van een eenmalige investering gedurende de economische levensduur van de woning.

4.3.2 Warmte afgiftesysteem woning

De kosten voor lage temperatuur verwarming (LTV) is moeilijk inschatbaar. Voor realisatie bij nieuwbouw zijn er geen of slechts bescheiden meerkosten t.o.v. hogere temperatuur verwarmingsystemen (HTS). De meerkosten vormen (m.n. bij radiatoren en convectoren) een minimale fractie van de totale bouwkosten. Kosten voor vloer- en wandverwarming worden vaak tegen meerprijs aangeboden bij nieuwbouwprojecten [mededeling van Bussel, 28/11/02].

In **Tabel 13** is een overzicht gegeven van de meerkosten t.o.v. “conventionele” hoge temperatuur-afgifte systeem per woning. Deze gegevens zijn afkomstig van de Novem website www.ltv.novem.nl/new_ltv/draaiboek/img_draai/pdf. Hierbij is geen rekening gehouden met de kosten van het warmteproductiemiddel. Sommige warmteproductiemiddelen werken misschien beter of alleen maar in combinatie met LTV [mededeling van Bussel, 28/11/02].

De aanschafprijs voor “standaard” radiatoren ligt globaal tussen 40 – 65 euro per kW afgifte systeem (excl. BTW, montage, leidingen, etc.) [www.tho.nl/winkel]. Het verschil in prijs wordt veroorzaakt door bijvoorbeeld de hoogte en aantal platen van de radiatoren.

De montagekosten zijn, uitgaande van 10-12 radiatoren, geschat op ca. €1500,- per (doorsnee) nieuwbouwwoning [www.tho.nl/winkel]. Indien voor het totale vermogen voor het afgiftesysteem wordt uitgegaan van ca. 11kW per woning, zijn de totale kosten alleen aan afgiftesysteem voor HTS 440 – 715 euro per woning³⁸. Inclusief montage worden de kosten 1940 – 2215 €/woning³⁹. (gemiddeld €2077.50).

In de laatste kolom van **Tabel 13** zijn de *gemiddelde* meerkosten van LTV opgeteld bij de gemiddelde kosten voor HTS. In het model wordt van de waarden in de laatste kolom uitgegaan.

Tabel 13: Overzicht meerkosten (www.ltv.novem.nl) en totale kosten per woning voor warmteafgiftesysteem (incl. appendages en montage, excl. BTW).

Afgifte systeem	Range meerkosten t.o.v. HTS (€)	Totaal €/woning
Vloerverwarming	450 – 1600	3102.5
Wandverwarming	450 – 1600	3102.5
LT-radiatoren	225 – 450	2415
LT-convectoren	225 – 450	2415
LT-radiator+vloerverwarming	337.5 - 1025 ⁴⁰	2758.75
Wand+vloerverwarming	450 - 1600	3102.5
LT-luchtverwarming	Geen meerkosten	2077.5

4.3.3 PV-panelen

Woning

In het model kan gekozen worden uit verschillende type zonnepanelen: amorf silicium en kristallijn silicium. De prijs van het PV-systeem wordt bepaald door het gekozen PV-oppervlak en type PV-paneel.

Amorfe zonnecellen hebben meer oppervlak nodig dan kristallijn bij gelijk opwekvermogen: 100 Wp multi kristallijn komt overeen met 1 m² paneel. Bij mono kristallijn is 1 m² paneel ongeveer 120 Wp en bij amorf komt dit overeen met 55 Wp [mededeling Snelleman, 22/10/02]. In **Tabel 14** is een overzicht gegeven van de kosten voor “kleinere” systemen (mono/multi kristallijn silicium). De prijs per Wp voor mono en multikristallijn is ongeveer gelijk [mededeling Snelleman, 22/10/02].

Tot 600 Wp mag een huiseigenaar zelf installeren, daarna moet het werk worden verricht door een installatiebedrijf [www.techneco.nl].

Tabel 14: Overzicht kosten (prijzen 2002) voor (zelfbouw) zonnepanelen (Shell SM110, mono-kristallijn, 110 Wp, inclusief inverter, opstellingsconstructie en 10 m kabel) [www.techneco.nl/frameset.html].

Aantal panelen	Vermogen. (Wp)	Prijs in €(excl. BTW en montage)
1	110	849
2	220	1698
3	330	2547

³⁸ Het benodigde vermogen voor het afgiftesysteem verwarming bij nieuwbouwwoningen kan lager of hoger liggen. Het benodigde vermogen (en daarmee de kosten) zijn afhankelijk van de grootte van de woning, isolatie, oriëntatie, etc.. Ook projectmatig uitvoeren van werkzaamheden verlaagt over het algemeen de kosten.

³⁹ Berekening: (40 €/kW * 11 kW) + €1500 = €1940,-per woning.

⁴⁰ Gemiddelde waarde van LT-radiator en vloerverwarming.

Uit bovenstaande **Tabel 14** blijkt dat de kosten per (mono-) kristallijn paneel (110 Wp) €850,- bedragen, exclusief BTW en montagekosten. Omgerekend 7.25 €/Wp ($849/110$). Kosten per m² paneel is ca. 906.25 euro ($7.25 \text{ €/Wp} * 125 \text{ Wp/m}^2$) (excl. BTW en montage).

De prijs voor amorfe zonnepanelen is ca. 6 €/Wp [www.solarmarket.nl] & mededeling Snelleman, 22/10/02] (excl. BTW, installatie en inverter). Een “losse” inverter kost ca. 0.88 €/Wp⁴¹ [www.solarmarket.nl] (excl. BTW). Echter dit is afhankelijk van het type inverter. De prijs per m² paneel is ca. 378 euro ($6.88 \text{ €/Wp} * 55 \text{ Wp/m}^2$).

Er is geen duidelijk prijsverschil voor de verschillende type daken (plattendak/schuine daken) [mededeling Snelleman, 22/10/02].

Wijk

De kosten voor PV-panelen op wijkniveau worden o.a. bepaald door locatie specifieke omstandigheden. De prijs van het PV-systeem (kristallijn panelen) wordt bepaald door het ingevoerde oppervlak (m²) van de gebruiker.

In Nederland (en ook buitenland) zijn een aantal projecten waarbij pv-panelen zijn geïntegreerd in geluidsschermen en aan het elektriciteitsnet zijn gekoppeld. Voorbeelden hiervan zijn te vinden langs de A9 bij Ouderkerk aan de Amstel (220 kWp, 2160 PV-panelen) en A27 ter hoogte van De Bilt (55 kWp, 1116 PV-panelen) (Weijers et al, 12/2000).

De kosten van alleen het PV-systeem langs de A9 bedroegen 1.9 miljoen euro. Dit komt neer op ca. 880 €/m² multi-kristallijne zonnecellen⁴². In Weijers et al., 12/2000) wordt aangegeven dat de kosten van een PV-scherm (95 Wp/m^2) van 1 km lengte en hoogte van 2m (2000m²) globaal tussen de 0.9 en 1.3 mln euro kost. Dit komt neer op 450 – 650 €/m². In het model wordt uitgegaan van gemiddeld 665 €/m² ($450 + 880/2$).

In Weijers et al. (12/2000) wordt voor de (technische) levensduur van een geluidsscherm uitgegaan van 30 jaar. Aangenomen wordt dat de economische levensduur van de PV-panelen ca. 15 jaar is.

4.3.4 *Zonnecollectoren*

Woning

De kosten van een zonnecollector in de woning zijn in het model afhankelijk van het door de gebruiker ingevoerde collectoroppervlak (m²) en de gekozen capaciteit van het boilervat. Bijkomende kosten zijn een gotenset.

Bij de zonneboiler kan worden gekozen uit een boilervat van 300 liter, 180 liter en 90 liter. De zonneboilercombi heeft geen 90 liter boiler als optie.

In Bijlage F staat de prijs gegeven in relatie tot boilerinhoud. Een 90 liter boiler kost ca. €571,-, 180 liter €703,- en 300 liter €896,-.

Op basis van produktinformatie op de website van Agpo BV [www.agpo.nl] is bepaald wat de gemiddelde kosten per m² collectoroppervlak zijn. Er is geen onderscheid gemaakt tussen verschillende type (standaard, liggend, gestapeld, etc) collectoren. De gebruiker kan in het model ook geen type kiezen. De prijs is gesteld op 244.42 €/m² collector.

Een gemiddelde gotenset kost ca. €144,- per collectorsysteem.

⁴¹ Mastervolt Soladin 120 inverter: maximaal 145 Wp, ca. 127 euro p. st. (excl. BTW) (www.solarmarket.nl & www.rietpol.nl). berekening: $127/145 = 0.88 \text{ €/Wp}$ (excl. BTW).

⁴² $220 \text{ kWp} / 2160 \text{ PV-panelen} \approx 102 \text{ Wp/paneel}$. Uitgaande van multi kristallijne panelen (ca. 100 Wp/m^2) is 1 PV-paneel van het geluidsscherm langs de A9 ca. 1 m². De kosten van het PV-systeem: 1.9 mln euro / $2160 \text{ m}^2 = 880 \text{ €/m}^2$ PV-paneel.

Uitgaande van een basisprijs⁴³ voor een zonneboiler van €293,5,- en zonneboilercombi € 1323,-, worden de totale kosten van het systeem bepaald door gekozen collectoroppervlak en inhoud van de boiler. Alle genoemde kosten zijn exclusief BTW en montage. In **Tabel 15** is een overzicht gegeven van de basisprijs (excl. collectoroppervlak).

Tabel 15: Overzicht basisprijs zonneboiler(combi).

Type	Inhoud boiler (l)	Basisprijs (€)
Zonneboiler	90	1009.17
	180	1140.84
	300	1333.93
Zonneboilercombi	180	2463.84
	300	2656.93

Wijk

In het model kan uit twee typen zonnecollectoren op wijkniveau een keuze worden gemaakt, namelijk een asfaltcollector en een geluidswal uitgerust met een zonnecollectorsysteem. De prijs van het systeem wordt bepaald door het ingevoerde collectoroppervlak van de gebruiker.

Een begrotingsindicatie voor een asfalt- en geluidswalcollector is moeilijk, omdat alleen van de asfaltcollector enkele proefprojecten bestaan. Tevens zijn er verschillende type asfaltcollectoren wat betreft de opbouw van het collectorsysteem⁴⁴ [www.winnerway.nl, www.ooms.nl, Weijers et. al., 2000]. In het rapport van Weijers et al. (12/2000) wordt voor een project met een buizencollectorsysteem, waarin een medium (bijvoorbeeld water) wordt rondgepompt, een prijsrange gegeven van 23 – 70 €/m² wegdek. Dit betreft alleen het buizensysteem (dus exclusief opslagsysteem, warmtepompen, besturingssysteem, etc.). Aangezien in het model de prijzen van warmteopslag en warmtepompen apart zijn opgenomen, wordt uitgegaan van een gemiddelde prijs van ca. €50 per m² wegdek.

Omdat er geen nadere gegevens van projecten over zonnecollectoren in een geluidsscherm gevonden zijn, wordt op basis van dezelfde toegepaste buizentechniek als bij een asfaltcollector ook dezelfde prijs gehanteerd: 50 €/m² collectoroppervlak.

4.3.5 *Installatie woning*

In het model zijn de volgende verwarmingstoestellen opgenomen: HR-(combi)ketel, VR-(combi)ketel, Micro-wkk, warmtepomp i.c.m. buitenlucht (elektrisch/gas) en de brandstofcel.

Er is verondersteld dat de prijs lineair verloopt met het (maximale) vermogen (kWth) van het apparaat. De prijzen zijn exclusief installatiekosten. In Bijlage E is een overzicht gegeven van de (advies)prijzen waarop de grafieken van **Figuur 2** en **Figuur 3** zijn gebaseerd.

⁴³ De basisprijs is afgeleid van een Nefit HR22 & 30 en Nefit HRC22 & 30. Het verschil in prijs tussen de HR en HRC is als tapwater deel beschouwd.

⁴⁴ Overzicht van een aantal typen (bron: www.winnerway.nl) Type 1: De wegconstructie is opgebouwd uit asfaltlagen en een betonlaag (gewapend of met staalvezels), waarin een buizenregister is opgenomen. Buizen in Beton (BIB); Type 2: De wegconstructie is opgebouwd uit asfaltlagen waarin een buizenregister is opgenomen in een asfaltlaag. Buizen in Asfalt (BIA); Type 3: De wegconstructie is opgebouwd uit asfaltlagen en een zeer open watervoerende asfaltbetonlaag waar doorheen water wordt gepompt. Water door Asfalt (WDA).

HR-/VR- (combi-) ketel

De punten uit de grafieken van de HR- en HR-combi-ketel (zie **Figuur 2**) zijn opgebouwd uit gemiddelde waarden⁴⁵. Er is gekozen voor gemiddelde waarden, omdat het prijsverschil tussen de verschillende merken/types bij (ongeveer) dezelfde vermogenscapaciteit soms aanzienlijk is. Hierdoor zou een erg grote spreiding ontstaan in de kosten.

Micro-wkk

Als voorlopige target-prijs wordt voor een (eerste versie) micro-wkk⁴⁶ van ENATEC micro-cogen B.V. [www.enatec.com] uitgegaan van maximaal €350,- meerprijs t.o.v. een HR-(combi-) ketel [www.ecn.nl/sf/ & Laag en Ruijg, 2002]. Echter het ontwikkelingsdoel van ENATEC is, bij grootschalige marktintroductie, €700,- meerkosten ten opzichte van een HR-(combi)ketel [Laag en Ruijg, 2002].

De kosten (zie **Figuur 2**) zijn afgeleid van de Nefit HRC 22/CW4 en Nefit HRC 30/CW5, door €700,- meerkosten te berekenen (zie Bijlage E).

Brandstofcel

In het model kan worden gekozen voor een brandstofcel van het type Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)⁴⁷, waarbij centraal aangevoerde waterstof/aardgas via de brandstofcel wordt omgezet in elektriciteit en warmte.

De investeringskosten voor een SOFC brandstofcel zijn in totaal⁴⁸ ca. €250,- per kWe [Laag en Ruijg, 2002].

Er wordt een afschrijftermijn van 5 jaar gehanteerd. (van der Laag en Ruijg, 9/2002). Dit is korter dan voor een conventionele verwarmingsinstallatie, omdat de verwachte technische levensduur momenteel 8 jaar bedraagt, waarbij na ca. 5 jaar de stack moet worden vervangen [Laag en Ruijg, 9/2002].

Warmtepomp

Indien gekozen wordt voor een warmtepomp, zijn er een drietal mogelijke warmtebronnen: buitenlucht, bodemwarmte⁴⁹ en grondwater.

De kosten van een warmtepomp zijn afhankelijk van het vermogen en het type bronnensysteem waarvan het gebruik maakt. Bij de gasgestookte warmtepomp is uitgegaan van een kostprijs van ca. 330 €/kW (mededeling van Kregel, 22/10/2002). Voor de kleinste vermogensversie elektrische warmtepomp buitenlucht (4.95kW) is een eigen aanneme gemaakt, dat deze ongeveer de helft van de prijs is van een 9.9kW elektrische warmtepomp buitenlucht.

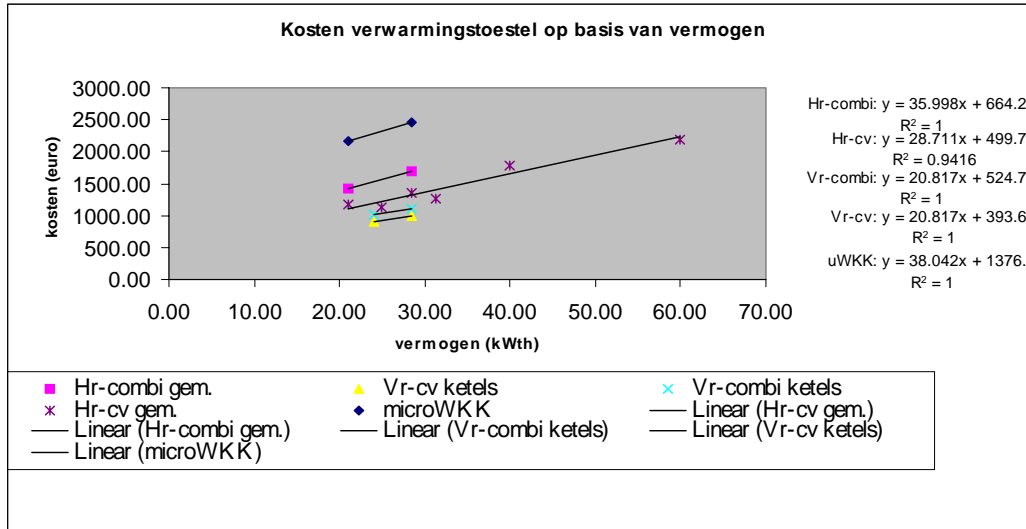
⁴⁵ Gemiddelde = gemiddelde adviesprijs van 2 (of meer) ketels met hetzelfde vermogen, maar verschillend van merk/type.

⁴⁶ Voorlopige versie gebaseerd op een bestaande 24 kW HR-CV-ketel (de Blauwe Engel II van ATAG) en de 1 kW vrije zuiger Stirling motor van Stirling Technology Company [www.ecn.nl/sf/research/micro_cogen/index.nl.html]. Elektrisch rendement 9 – 15% en totaal rendement 100-107% [Laag en Ruijg, 2002].

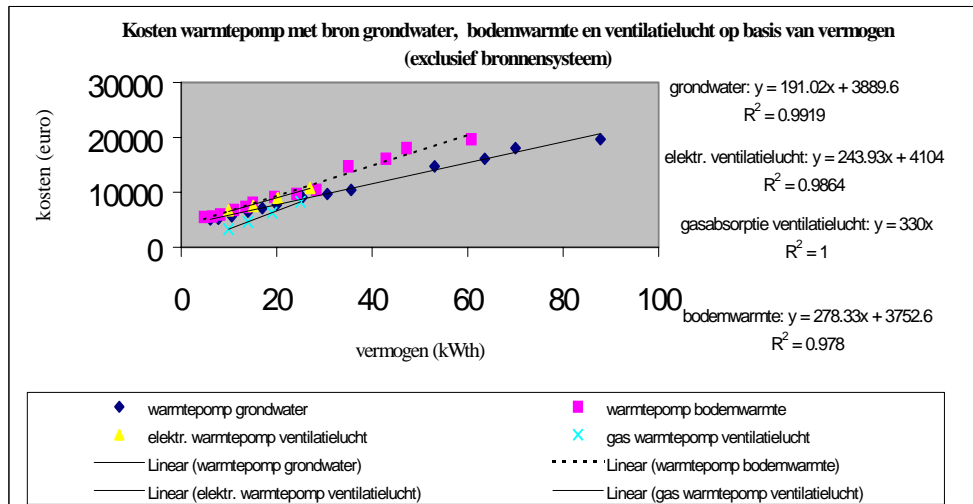
⁴⁷ Elektrisch rendement van SOFC met steamreforming 45% - 53%. Uitgaande van een rookgastemperatuur van ca. 30°C is het totaal rendement 104%. Bij een rookgastemperatuur van 70°C is het totaalrendement ca. 81% [Laag en Ruijg, 2002].

⁴⁸ Midden scenario, tabel 7-4: Stack: 1500€/kWe; Inverter: 750€/kWe; Overige systeemkosten: 1000€/kWe;totaal: 3250€/kWe [Laag en Ruijg, 2002].

⁴⁹ Het warmtepompsysteem dat gebruik maakt van de warmtebron bodem of grondwater, is van het ondergrondse systeem gescheiden d.m.v. een warmtewisselaar. De kosten t/m de warmtewisselaar zijn meegenomen bij het bronnensysteem (zie paragraaf 4.3.6).



Figuur 2: Overzicht kosten (verwarming/tap)installaties woning.



Figuur 3: Overzicht kosten warmtepompen.

4.3.6 Energieopslag

In het model kan geen keuze worden gemaakt tussen een open (grondwatersysteem) of gesloten opslagsysteem. In een gesloten systeem zijn de bodem en het grondwater gescheiden van het medium dat de energietransport naar de afnemer verzorgt. Over het algemeen zijn gesloten systemen duurder dan open systemen. Ook zijn de kosten afhankelijk van het rendement op de warmteoverdracht van de warmtewisselaar [Leijendeckers et al., 2002].

In het model worden de meeste energiestromen uitgedrukt in GJ i.p.v. kW. Echter in de praktijk blijken de kosten vaak uitgedrukt in €/kW opslagcapaciteit. Uitgaande van de aanname 1000 bedrijfsuren voor het laden van de opslag (buiten het stookseizoen) tot de maximale putcapaciteit is bereikt, komt 1GJ overeen met ca. 0.278kW^{50}

⁵⁰ 1 GJ=1000MJ, delen door 3.6 levert 277.78kWh. Vervolgens delen door 1000 bedrijfsuren.

Woningen

In het model wordt voor het opslagsysteem op woningniveau uitgegaan van een gesloten systeem. Het betreft zogenaamde verticale bodemcollectoren of warmtewisselaars (“U-lussen” in de bodem) voor een warmtepomp. De keuze op woningniveau voor dit type is vanwege reëtelijk eenvoudige ruimtelijke inpassing, kosten en minder vergunning-procedures. De kosten van dergelijke systemen ligt globaal in de range 350 tot 1150 €/kW (Leijendeckers et al., 2002). Wordt uitgegaan van het gemiddelde (750 €/kW) dan komt dit onder de gestelde aannames overeen met ca. 208 €GJ⁵¹.

Per woning kan de keuze worden gemaakt uit een maximale opslagcapaciteit van 15GJ (4.17kW) of 20GJ (5.56kW). De investeringskosten van deze opslagsystemen komen dan overeen met ca. €120,- voor 15GJ en €160,- voor 20GJ.

Energiezone

Op energiezone niveau wordt uitgegaan van opslagsystemen die groter zijn dan 200kW (720GJ). Het gaat hierbij om zogenaamde grondwatersystemen. In tabel X zijn voor een viertal categorieën opslagcapaciteiten een indicatie van de kosten gegeven van het gehele systeem tot en met de warmtewisselaar.

Tabel 16: Overzicht indicatieve begrotingskosten grondwateropslagsystemen [mededeling van Aarssen, 14/3/2003].

Categorie	Kosten (€/kW)
< 200 kW	400 – 1000
200 – 600 kW	400 – 600
600 kW – 2 MW	300 – 800
2 MW	250 - 500

De marges zijn vrij ruim, maar zijn dermate afhankelijk van de bodemgeschiktheid en overige aspecten, dat gedetailleerde gegevens alleen voor individuele locaties kunnen worden gegeven [Mededeling van Aarssen, 14/3/2003].

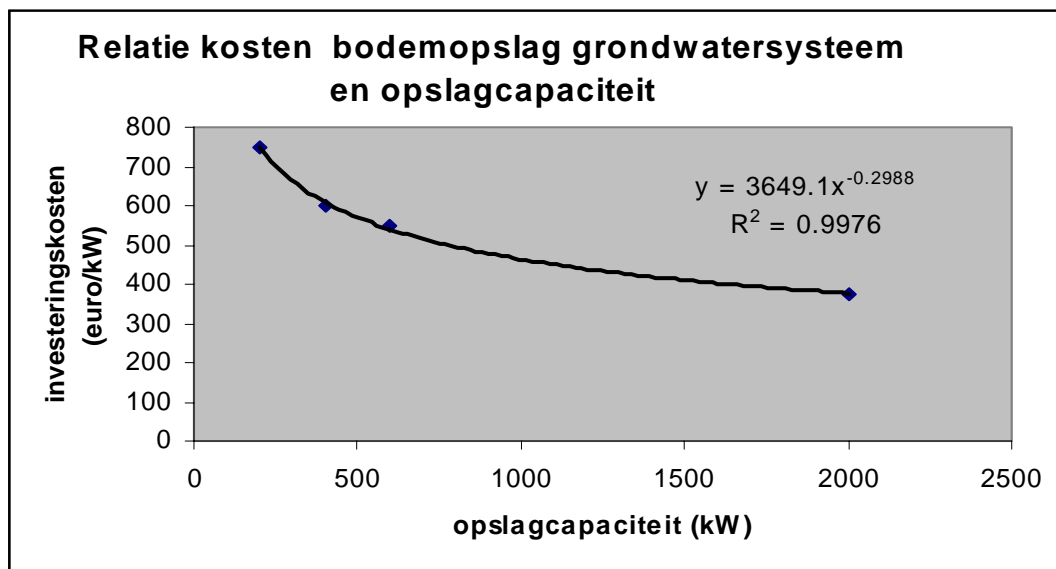
De genoemde investeringskosten grondwatersysteem⁵² betreffen:

- bronnen en putbehuizing;
- bronkoppelen en leidingwerk in pompkamers en putbehuizing (inclusief bronpompen);
- transportleidingwerk (inclusief graafwerk);
- leidingwerk en appendages in technische ruimte, inclusief warmtewisselaar;
- regeling en bekabeling;
- aanvraag Vergunning Grondwaterwet (exclusief leges en publicatiekosten);
- aanvraag lozingsvergunning;
- ontwerp, detail engineering en begeleiding uitvoering

⁵¹ 1kW ≈3.60GJ bij 1000 bedrijfsuren, dan 750 €/kW delen door 3.60 levert 208 €GJ bij 1000 bedrijfsuren.

⁵² Tot het grondwatersysteem behoren de componenten die in aanraking komen met het grondwater of die nodig zijn om dit systeem te regelen, te beveiligen en te beschermen [mededeling van Aarssen, 14/3/2003].

Op basis van de waarden uit voorgaande tabel is **Figuur 4** gemaakt. Hierbij is ervan uitgegaan dat vanaf 200kW benodigde opslagcapaciteit een grondwatersysteem voordeliger is dan een grondcollector. Met andere woorden indien (ongeveer) meer dan 30 woningen elk een eigen bodemopslag krijgen, kan misschien een centrale opslag voordeliger zijn. Maar dit is dus afhankelijk van de opslagcapaciteit van de individuele opslag.



Figuur 4: Overzicht relatie opslagcapaciteit en investeringskosten bodemopslag grondwatersysteem.

Bij bodemopslag op energiezone niveau is gekozen voor een minimale opslagcapaciteit van 250kW (900GJ). De investeringskosten bij een dergelijke capaciteit (volgt uit de grafiek) is ca.701 €/kW, ofwel €175250,- (250*701).

De terugverdientijd van een energieopslagsysteem is gemiddeld vijf jaar [www.energieopslag-in-de-bodem.nl/].

4.3.7 Ventilatiesystemen

Op de website van Novem [www.epn.novem.nl/maatregelen/] staan voor verschillende ventilatiesystemen investeringskosten vermeld. In **Tabel 17** staan deze weergegeven, exclusief BTW.

Tabel 17: Overzicht Indicatie investeringskosten ventilatiesystemen.

Ventilatiesysteem	€/woning
natuurlijke afvoer en natuurlijke toevoer	566
mechanische afvoer + natuurlijke toevoer*	566
mechanische afvoer + natuurlijke toevoer met zelfregelende roosters*	732
gebalanceerde ventilatie + wtw (rendement 60%) ⁵³	1213
gebalanceerde ventilatie + HR wtw (rendement 70-90%)	1419

* inclusief 3 meter ventilatierooster

⁵³ In het model is het ook mogelijk om te kiezen uit een wtw van 65%. De kosten van deze optie zijn €316,-. Dit is een gemiddelde waarde van wtw 60% en 70%.

4.3.8 *Windturbines*

In het computermodel kan de keuze worden gemaakt uit een aantal voorgedefinieerde typen windturbines: LW30⁵⁴, LW52, WM46 en de “Turby”. Op basis van het vermogen zijn in **Tabel 18** de gemiddelde investeringskosten op land vermeld. De spreiding rond de gemiddelde kosten bedraagt ca. 15%.

Dit hangt samen met locatiespecifieke eigenschappen, zoals de aanleg van de fundering, aansluiting op het elektriciteitsnet, aanleg onderhoudswegen, leges, etc.

Tabel 18: Overzicht investeringskosten op land verschillende type windturbines (afgeleid van www.den.novem.nl/wind/ & www.telegraaf.nl/krant/archief/).

Type	Vermogen (kW)	Kosten (€stuk)
LW30	250	262500
LW52	750	787500
WM46	900	945000
“Turby”	2	11500 ⁵⁵

4.3.9 *Isolatie woning*

Bij het vaststellen van de kosten voor het isoleren van een woning wordt gebruik gemaakt van het schalingsprincipe zoals beschreven in paragraaf 3.1.1. Met andere woorden op basis van de keuze voor een bepaald isolatiepakket, type woning en gebruiksoppervlak, kunnen de investeringskosten worden berekend. Er is een lineair verband tussen het gebruiksoppervlak (Ag in m²) en de bijbehorende kosten per woning verondersteld (zie Figuur 5 en Bijlage B).

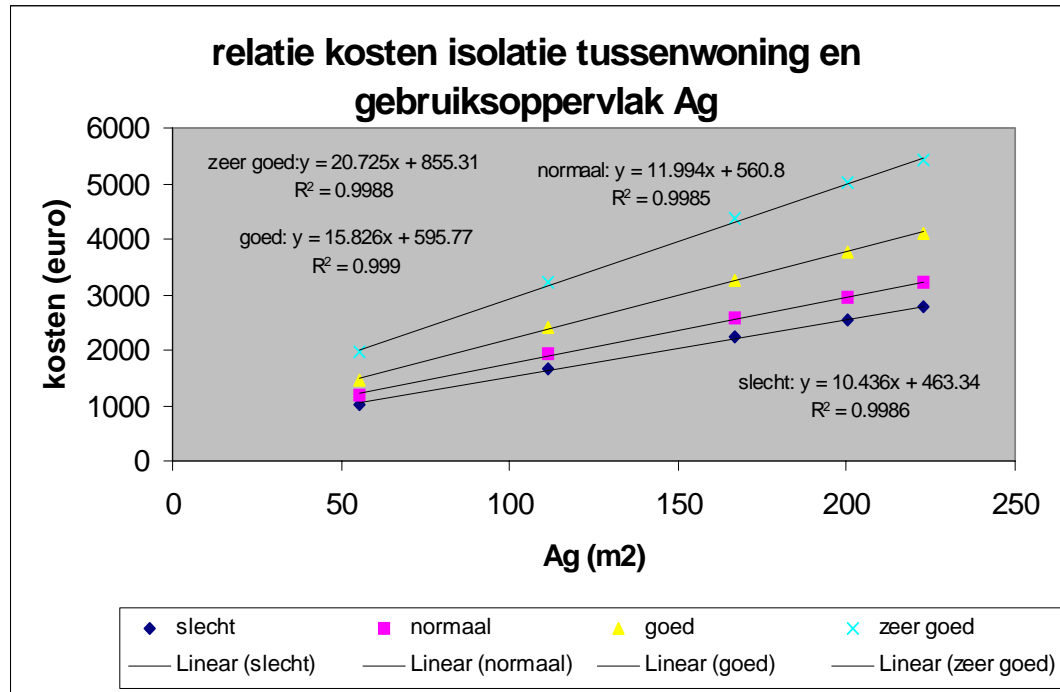
⁵⁴ LW30: merk Lagerwey the Windmaster BV, rotordiameter 30m, ashoogte 50m, nominaal vermogen 250kW [www.lagerwey.nl];

LW52: merk Lagerwey the Windmaster BV, rotordiameter 51.5m, ashoogte 75m, nominaal vermogen 750kW [www.lagerwey.nl];

WM 46: merk Lagerwey the Windmaster BV, rotordiameter 45.9m, ashoogte 50m, nominaal vermogen 900kW [www.lagerwey.nl];

Turby: merk Core-International BV, rotordiameter 1.5m, ashoogte 2m, nominaal vermogen 2kW [www.core-international.nl].

⁵⁵ Betreft alleen de kosten van de windturbine zelf.

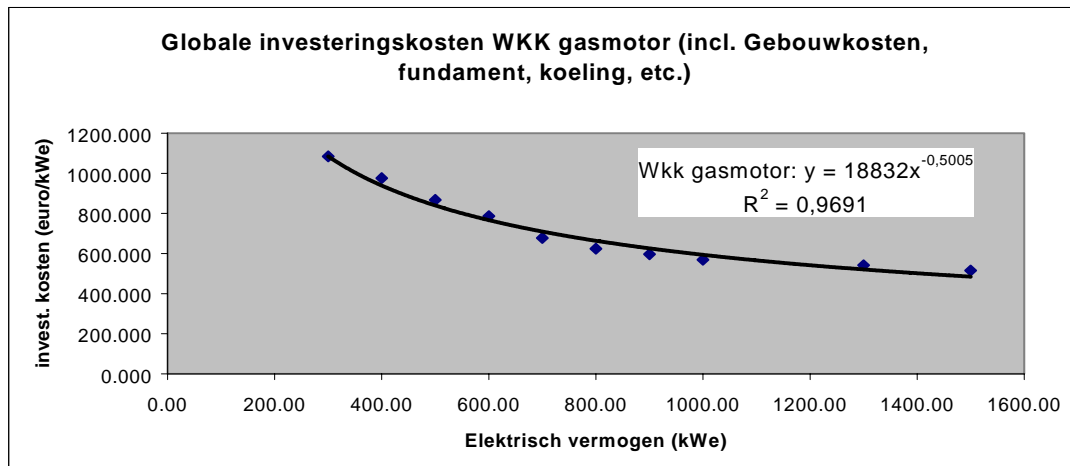


Figuur 5: Relatie isolatiekosten tussenwoning en gebruiksoppervlak.

Bijlage G zijn de indicatieve materiaalkosten weergegeven waarmee is gerekend. De kosten voor de isolatie van houten deuren is niet meegenomen. Deze wordt ten opzichte van de totale isolatiekosten als verwaarloosbaar beschouwd.

4.3.10 Wkk-gasmotor

In **Figuur 6** staan de gemiddelde investeringskosten per kWe vermogen voor een WKK gasmotor⁵⁶ van Jenbacher B.V. De spreiding rond het gemiddelde bedraagt 15-20%. De kosten zijn afhankelijk van de opbouw van het systeem [www.jenbacher.com, productinformatie]. Zo'n 50% van de kosten bestaan uit gebouwkosten, module brandstofvoorziening, smeerolievoorziening, koeling, elektrische apparatuur [www.jenbacher.com, [produktinformatie](#)]. De investeringskosten worden afgeschreven in een periode van 15 jaar. Dit is overeenkomstig de gehanteerde levensduur in Verlinden en Felledans (13/5/1998).

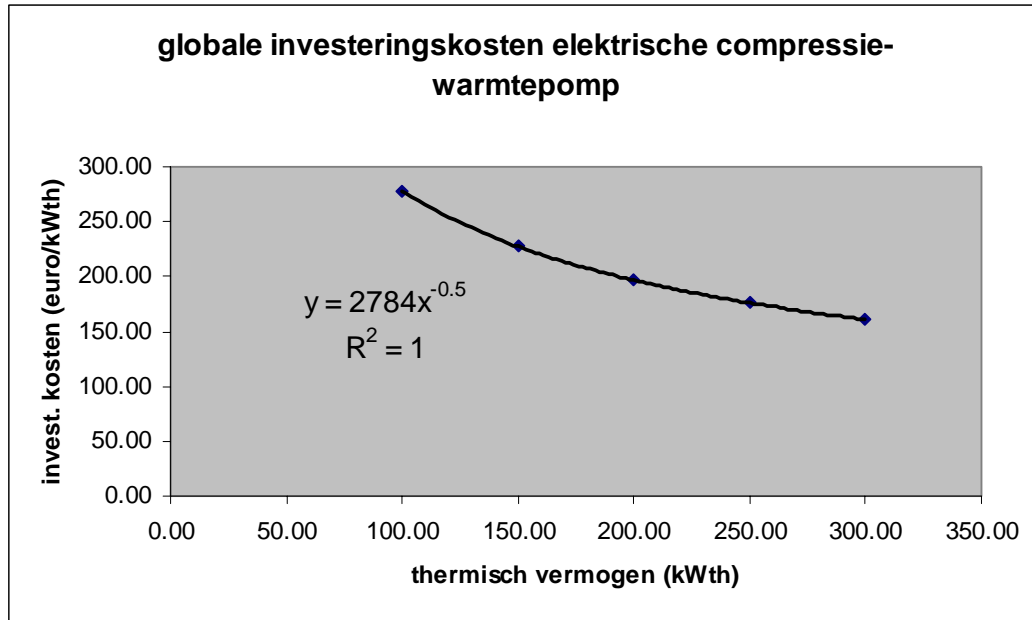


Figuur 6: Overzicht investeringskosten wkk-gasmotor [www.jenbacher.com, productinformatie].

4.3.11 Collectieve elektrische warmtepomp

In Energievisie Malburgen [Verlinden en Fellendans,13/5/1998] wordt voor een 250 kWth elektrische compressiewarmtepomp uitgegaan van 340 gld/kWth. Inclusief correctie voor inflatie is dit ca. 176 €kWth. Evenals bij de WKK-gasmotor het geval is, is te verwachten dat de investeringskosten (€kWth) afnemen bij toename van het vermogen. Bij een gelijknamige afname van de kosten als bij de WKK-gasmotor en rekeninghoudend met de gevonden investeringskosten voor een compressiewarmtepomp, kan de trendlijn in **Figuur 7** worden gemaakt.

⁵⁶ Uitgangspunten: thermische rendement ca. 50% en het elektrische rendement ongeveer 40% [www.jenbacher.com, productinformatie]. Het 10% verlies bestaat uit generatorverliezen, stralingsverliezen, verliezen warmtewisselaar en de niet benutte warmte van emissies. Dit komt overeen met de gehanteerde waarden (respectievelijk 51% en 38%) in Energievisie Malburgen [Verlinden en Fellendans, 13/5/1998].



Figuur 7: Overzicht investeringskosten voor een elektrische compressie-warmtepomp.

4.3.12 CO₂-opslag

De kosten voor CO₂ verwijdering bestaan uit een aantal onderdelen: afvang (“recovery”), compressie, transport en opslag [Hendriks et al, 8/2000].

Recovery

In het artikel van Hendriks et al (8/2000) worden voor een aantal afvangtoepassingen en opslagmethodieken de kosten gepresenteerd. Uit de gegevens blijkt dat met name de “recovery” kosten variëren: 5 – 35 €/ton vermeden CO₂. Deze kosten zijn afhankelijk van specifieke eigenschappen van de productie-eenheid waarvan de CO₂ moet worden afgevangen. Vanwege deze variatie per specifieke situatie wordt hier geen rekening mee gehouden in het model.

Compressie en transport

De compressie en transportkosten variëren globaal tussen 7 en 18 €/ton CO₂, o.a. afhankelijk van de lengte van de pijpleiding en de getransporteerde hoeveelheden [Hendriks et al, 2000].

Opslag

Er zijn verschillende methodes voor opslag van CO₂. Opslag kan plaatsvinden in lege gasvelden, olievelden, zoutlagen en watervoerende lagen. De bodemlagen moeten in iedere geval goed afgedicht zijn, zodat geen “lekkage” (via scheurvorming) van CO₂ optreedt bij opslag onder (hoge) druk.

Voor grootschalige toepassing zijn de olievelden in Nederland niet groot genoeg. Over CO₂-opslag in zoutlagen bestaan twijfels i.v.m. bijvoorbeeld de stabiliteit op de langere termijn. Vervolgens blijven opslag in de aquiver en aardgasveld over, waarvan de aardgasvelden het beste zijn onderzocht en zich hebben bewezen. Hierdoor zijn er minder (voor)onderzoekskosten en monitoringskosten dan bij opslag in een aquiver [<http://www.schoonschrift.nl/> & www.nitg.tno.nl & Hendriks et al, 8/2000]. Daarom gaat de voorkeur uit naar opslag in lege aardgasvelden.

De opslagkosten variëren met de opslagdiepte, type opslag en on- of offshore (www.nitg.tno.nl). Opslagkosten offshore zijn duurder dan onshore, omdat een platform nodig is.

Globaal liggen de kosten tussen de 1 en 7 €/ton CO₂ bij opslag op land en off-shore ca. 6 – 13 €/ton CO₂⁵⁷. De lage kosten corresponderen met een diepte van 1000m, terwijl de hogere kosten optreden bij zo'n 3500m diepte [www.nitg.tno.nl en Hendriks et al, 2000]. In het model zal alleen CO₂-opslag in een leeg aardgasveld op land een optie zijn.

De totale kosten voor het verwijderen voor CO₂ (exclusief afvang-technologie) komen hiermee (gemiddeld) op ca.16.5 € per ton CO₂ opgeslagen in een leeg aardgasveld op land.

⁵⁷ voorwaarden: 1 Mton CO₂ opslaan voor een periode van maximaal 25 jaar.

5 Handleiding

5.1 Installatie en bestanden

Systeemeisen

De minimale systeem eisen zijn:

Pentium 300 MHz

Windows 98

Scherms resolutie 800 * 600

Installatie

Bestanden

Na installatie staan de volgende bestanden in de programmamap:

Merlin.exe

Merlin.ini

Merlin.Htm

Leesmij.txt

In de datamap die zich in de programmamap bevindt staat de database (Mydata.mdb) en hier komen standaard ook de aangemaakte scenario's te staan.

5.2 Leeswijzer

Om onderstaande rondleiding beter te laten verlopen volgen hier enkele afspraken met betrekking tot de notatie en verwijzingen naar teksten en opties het model.

Schermsverwijzingen	notatie	voorbeeld
Toetsen	< >	<Ctrl>
Menuopties, knoppen en tabbladen	[]	[OK]
Tekst in het scherm	“ ”	“Oppervlakte”
Opties die veranderd/ingevuld moeten worden	vet	Het Voorbeeld

5.3 Invoer

In deze paragraaf maakt u kennis met het programma. Dit geschiedt door middel van een rondleiding. Tijdens deze rondleiding wordt u gevraagd een eenvoudig voorbeeld scenario in te voeren ter illustratie van de mogelijkheden van het model.

Dit voorbeeld scenario betreft een wijk met 2 energiezones elk met 300 woningen. “Zone compact” heeft een hoge bebouwingsgraad met rijtjes woningen en is daarom geschikt voor collectieve verwarming, die dan ook wordt aangelegd. De “Zone ruim” is ruimer van opzet en de huizen bestaan uit 2 onder 1 kap en vrijstaande woningen.

De wijk

In dit eerste scherm, wat verschijnt als het programma wordt opgestart (zie Figuur 8), kunt u diverse gegevens over de wijk invoeren.

Het eerste wat we gaan doen is de wijk een eigen naam geven.

The screenshot shows the 'Modelling Energy Resources Limitation in Neighborhoods (MERLIN)' software window. The 'Wijk' tab is active, showing 'Energiezone 1'. The 'Algemeen' section includes fields for 'Zichtjaar' (2003), 'Aantal huizen' (1), 'Oppervlakte' (100), and 'Aantal energiezones' (1) with an 'Aanpassen' button. A table below shows the current configuration:

	Aantal huizen	Oppervlakte:
Energiezone 1	1	100

The 'Energievoorziening' section includes dropdowns for 'Brandstof' (aardgas), 'Energiecentrale' (geen), 'Leidingen' (aardgas+elektriciteit), 'Windmolen-type' (geen), 'PV-type' (geen), and 'Oriëntatie(zuid/hellingshoek)' (zuid). A 'Meest nabij gelegen weerstation' dropdown is set to 'De Bilt'. The status bar at the bottom indicates 'Actief scenario:'.

Figuur 8: De wijkgegevens

Opdracht:

Klik met de rechter muisknop op het tabblad [Wijk]. Klik op de menuoptie [Verander naam] in het 'Popup menu'. Een nieuw venster verschijnt. Voer in het veld onder de tekst "Nieuwe naam" de naam van de wijk in: **Het voorbeeld**.

Daar de wijk bestaat uit twee energiezones en er slechts 1 is moet eerst een tweede energiezone worden aangemaakt.

Opdracht:

Klik op de knop [Aanpassen]. Een nieuw venster verschijnt. Vul in het veld achter de tekst: "Nieuwe aantal energiezones" het getal **2** in en sluit af met [OK].

In de tabel links onder in het scherm is een tweede regel toegevoegd. In deze tabel staan zowel het aantal huizen als het oppervlak van de energiezones. Alleen de energiezones kunnen hier echter worden gewijzigd. In de tabel moeten de oppervlaktes van de energiezones worden ingevoerd.

Opdracht:

Selecteer de cel in de rij "energiezone 1" en onder "Oppervlakte:" Typ het getal **90000** in . Ga nu een rij naar beneden en typ hier het getal **150000**.

De wijk die u nu aan het 'bouwen' bent ligt bij de stad Groningen. Zelfs in ons kleine Nederland zijn de klimatologische verschillen dusdanig dat hiermee rekening gehouden moet worden om een reëel beeld te krijgen van de energievraag. Verander daarom het "meest nabije weerstation".

Opdracht:

Klik met de muiscursor op het pijltje rechts in het invoerveld waarin nu “de Bilt” staat. Selecteer uit het lijstje: **Eelde**

De wijk wordt niet voorzien van warmte door een bron buiten de wijk, dus het eerste blok van de energievoorziening (rechts in het venster) kan onveranderd blijven.

Het Leiding netwerk van de wijk bestaat vooralsnog uit een elektriciteit en een gasnetwerk. Dit is ook de standaard optie.

Er worden 2 windmolens aan de buitenzijde van de wijk geplaatst.

Opdracht:

Klik met de muiscursor op het pijltje recht in het invoerveld, achter “Windmolen type” en selecteer de **LW 30**.

Selecteer het invoerveld achter “Windmolenaantal” en voer het getal **2** in.

Daar er geen zonnecellen op wijk niveau worden geplaatst is het invoeren van de wijkgegevens nu compleet.

Energiezone - de woning (compact)

Opdracht:

Klik op het tabblad [Energiezone 1].

In dit nieuwe venster (Figuur 9) waarin het tabblad [Woning] actief is moeten de gegevens van alle in de energiezone aanwezige typen woningen worden ingevoerd. Voordat we hier mee beginnen gaan we eerst de naam van de energiezone aanpassen.

The screenshot shows the 'Modelling Energy Resources Limitation in Neighborhoods (MERLIN)' software window. The 'Woning' tab is active, displaying a table of housing data for 'Type 1'. The table includes fields for 'Type Woning/Woongebouw', 'Aantal', 'Gebruiksoppervlakte per woning', 'Oriëntatie', 'Isolatie', 'Ventilatie', 'Type verwarmingslichaam', 'Verwarmingstoestel', 'Zonnecollector', 'Collector oppervlakte', 'Collector oriëntatie hor.', 'Collector oriëntatie vert.', 'PV type', 'PV oppervlakte', 'PV oriëntatie hor.', 'PV oriëntatie vert.', and 'Warmteopslag'. To the right of the table are buttons for 'Type toevoegen' and 'Type verwijderen', and a text box for 'Warmtebehoefte voor verwarming per woning [MJ]' with the value '30862'.

	Type 1
Type Woning/Woongebouw:	hoekwoning / 2-1 kap
Aantal:	1
Gebruiksoppervlakte per woning[m ²]:	134
Oriëntatie:	zuid
Isolatie:	normaal
Ventilatie:	natuurlijk
Type verwarmingslichaam:	LT luchtverwarming
Verwarmingstoestel:	HR-104-combi-ketel
Zonnecollector:	geen
Collector oppervlakte [m ²]:	0
Collector oriëntatie hor.:	zuid
Collector oriëntatie vert. [°]:	45
PV type:	geen
PV oppervlakte:	0
PV oriëntatie hor.:	zuid
PV oriëntatie vert. [°]:	45
Warmteopslag:	geen

Warmtebehoefte voor verwarming per woning [MJ]:
30862

Figuur 9: De woninggegevens

Opdracht:

Klik met de rechter muiscursor op het tabblad [Energiezone 1]. Klik op de menuoptie [Verander naam] in het 'Popup menu'. Een nieuw venster verschijnt. Voer in het veld onder de tekst "Nieuwe naam" de naam van de energiezone in: **Zone compact**.

In deze energiezone gaan 30 rijen van 10 woningen gebouwd worden. De straten komen allemaal parallel te liggen zodat de oriëntatie van alle woningen gelijk is. De overige karakteristieken van al deze woningen zijn ook gelijk. Dit betekent dat er in deze zone slechts twee typen woningen komen te staan: 60 hoekwoningen en 240 tussenwoningen.

Opdracht:

Klik éénmaal op de knop [Toevoegen].

Er zijn nu twee type woningen aanwezig.

Klik nu in de kolom van "Type 2" op het veld achter "type woning/woongebouw" en verander dit in **tussenwoning**.

Verander in dezelfde kolom het "aantal" in **240**.

Klik nu met de muiscursor op de 'scroll' balk onder de tabel zodat "Type 1" in beeld komt.

Verander hier het "aantal" in **60**.

De andere karakteristieke van beide woningtypen zijn identiek. Het gebruiksoppervlak is iets kleiner dan in de referentiewoning, de verwarming wordt verzorgd door een warmte-kracht centrale (wkk) in de zone en er wordt een zonnecollector op de woning geplaatst.

Opdracht:

Voer bij beide woningtypen de volgen de waarden in:

Item	invoer
De "Gebruiksoppervlakte per woning"	120
"Type verwarmingslichaam:"	Radiator traditioneel (90-70)
"Verwarmingstoestel:"	collectief
"Zonnecollector"	Zonneboiler met 180 liter boiler
"Collectoroppervlak (m ²):"	4

De andere karakteristieken blijven gelijk aan de standaard waarden.

Rechts van de tabel wordt door het model de warmtebehoefte weergegeven van dat type huis waarvan de kolom in de tabel is geselecteerd. Als het goed is, is de door het model berekende warmtebehoefte 32555MJ en 24830MJ voor respectievelijk de hoekwoning en de tussenwoning.

Energiezone – collectieve installaties (Zone compact)

We gaan nu de collectieve installatie invoer en voor de energiezone: Zone compact.

Opdracht:

Klik op het tabblad [Collectieve installaties], een nieuw venster verschijnt (zie Figuur 10)

Klik op het invoer rechts van "Installatie(s)" en selecteer de optie **wkk**.

The screenshot shows the 'Modelling Energy Resources Limitation in Neighborhoods (MERLIN)' software window. The interface is divided into several sections for data entry:

- Menu:** Bestand, Analyse, Help
- Wijk:** Zone compact, Energiezone 2
- Woning:** Collectieve installaties
- Installatie(s):** geen
- Warmte-netwerk:**
 - Aantal onderstations: 0 [Bereken]
 - Primaire netwerk lengte: 0 [Bereken]
 - Secundaire netwerk lengte: 0 [Bereken]
 - Temperature options:
 - Hoge temperatuur
 - Midden temperatuur
 - Lage temperatuur
- Opslag:**
 - Type: geen
 - Aantal putten/doubletten: 0 [Bereken]
- Leidingen:** aardgas+elektriciteit
- Aansluitingen in de woningen:**
 - Hot fill-aansluitingen: nee
 - Gasstopcontacten: nee
- Collectors:**

Type:	geen
Oppervlak:	0
oriëntatie hor:	zuid
oriëntatie vert:	45

At the bottom, it says 'Actief scenario:'.

Figuur 10: De energiezonegegevens

Naast de keuze voor het type installatie dat de energiezone van warmte voorziet moeten nog enkele gegevens met betrekking tot het warmtenet worden ingevoerd. Het aantal onderstations (nodig voor het pompen van het warmwater) wordt bepaald door het oppervlak van de energiezone en het aantal huizen. Weet u dit aantal niet dan kunt u het door het programma laten berekenen. Hetzelfde is het geval voor de lengte van het primaire (verbinding tussen installatie en onderstation(s)) en het secundaire (verbinding tussen de onderstations en de woningen) netwerk. Als laatste is de temperatuur van het te leveren warmwater van belang. Hoe hoger de temperatuur hoe hoger de verliezen. Kiest u hier echter voor een midden of lage temperatuur netwerk dan dient u zich te realiseren dat de voorzieningen in de woning hiermee in overeenstemming moeten zijn. Hoe lager de water temperatuur hoe groter het oppervlak van het verwarmingslichaam moet zijn. De radiatoren die u in het vorige invoervenster heeft geselecteerd zijn alleen geschikt voor een hoge temperatuur warmtenetwerk.

Opdracht:

Laat het programma het aantal onderstations en de netwerk lengte berekenen. Klik hiervoor op de drie [Bereken] knoppen.

Selecteer de hoge temperatuur indien dit nog niet het geval is.

De zonnecollectoren die u in het vorige invoervenster heeft ingevoerd zijn niet aangesloten op een seizoensopslag. De keuze voor de leidinginfrastructuur werd in eerst instantie op wijkniveau gemaakt (eerste invoervenster). Indien de energiezone hiervan afwijkt kan dat hier worden aangegeven. Daar de energiezone m.b.v. een warmtenetwerk wordt voorzien van warmte voor ruimteverwarming zou een gasleiding infrastructuur slechts ten behoeve van het koken nodig zijn. Dit vergt een forse investering en wordt dus in deze energiezone achterwegen gelaten. Koken zal in deze wijk elektrisch moeten geschieden. Daar ruim warmwater voor handen is worden er in

alle huizen in deze energiezone ‘Hot fill’-aansluitingen aangebracht. Verder zijn er geen collectieve zonnecollectoren in deze wijk.

Opdracht:

Klik op het invoerveld van “Leidingen” en selecteer hier **Elektriciteit**.

Klik vervolgens op het invoerveld rechts van “Hot fill-aansluitingen” en selecteer **ja**.

De invoer voor de eerste energiezone is nu klaar.

Energiezone - de woning (compact)

Opdracht:

Klik op het tabblad [Woning] en vervolgens op het tabblad [Energiezone 2].

In dit venster moeten weer de gegevens van alle in de energiezone aanwezige typen woningen worden ingevoerd. Voordat we hier mee beginnen gaan we ook hier weer de naam van de energiezone aanpassen.

Opdracht:

Klik met de rechter muiscursor op het tabblad [Energiezone 2]. Klik op de menuoptie [Verander naam] in het ‘Popup menu’. Een nieuw venster verschijnt. Voer in het veld onder de tekst “Nieuwe naam” de naam van de energiezone in: “**Zone ruim**”.

In deze energiezone staan drie type woningen: een vrijstaande woning en twee verschillende 2 onder 1 kap woningen.

Opdracht:

Klik twee keer op [Type toevoegen].

Verander bij “type 1” het “Type woning/woongebouw” in **vrijstaande woning**.

De karakteristieken van de drie woningen in zoverre ze afwijken van de standaard waarden staan in onderstaande tabel.

Tabel 19: Woningkarakteristieken in energiezone: Zone ruim

Item	Type 1	Type 2	Type 3
Type woning	vrijstaand	2 onder 1 kap	2 onder 1 kap
Aantal	100	100	100
Gebruiksoppervlak	200	150	150
Isolatie	normaal	normaal	Goed
Ventilatie	natuurlijk	natuurlijk	Wtw 75%
Verw. lichaam	Rad. trad. (90-70)	Rad. trad. (90-70)	Rad. trad. (90-70)
Verw. toestel	HR combi (108%)	HR combi (108%)	HR combi (108%)
PV type	geen	geen	Amorf AC dak
PV oppervlak			10

Opdracht:

Voer de woningkarakteristieken uit **Tabel 19** in.

Als alles goed is ingevoerd is de warmte behoefte voor ruimteverwarming zoals berekent door het model: 44942MJ, 38049MJ en 21337MJ respectievelijk voor type 1, 2 en 3.

Voor de energiezone: “Zone ruim” hoeft in het tabblad [Collectieve installaties] niets te worden ingevoerd. De invoer is dus klaar.

Opdracht:

Klik op [Bestand] in het hoofdmenu en vervolgens op [Opslaan als]. Sla dit scenario op onder de naam "Voorbeeld".

5.4 Uitvoer

Het model biedt drie mogelijkheden om de uitkomsten van de berekeningen te evalueren. Er is een tabeluitvoer met daarin de belangrijkste resultaten op energiezonenniveau. Hier is ook een doorklik mogelijkheid aanwezig voor de uitvoer op woningniveau. De tweede optie is de weergave van de resultaten in enkele staafdiagrammen (Woning, energiezone en de wijk). Als laatste is het nog mogelijk om scenario's die eerder op geslagen zijn met elkaar te vergelijken. Deze laatste optie is met name relevant wanneer diverse energie-infrastructuur oplossingen voor één bepaalde wijk naast elkaar gezet moeten worden.

Actieve scenario

The screenshot shows a software window titled 'Resultaten' with a table of energy zone and district results. The window has standard Windows window controls (minimize, maximize, close) in the top right corner.

De wijk

	Opbrengst (GJ)	Kosten (€)
Wind	3035	525000
PV	0	0

	Zone compact	Zone ruim
Oppervlak zone (m²):	90000	150000
Aantal woningen:	300	300
Bruto elektr. vr. woning (GJ):	1497.57	2132.11
Elektriciteitsvraag (GJ):	1497.57	1980.03
Elektr. vraag ruimteverw. (GJ):	0	0
Elektr. vraag tapwater (GJ):	0	0
Elektriciteitsprod. PV (GJ):	0.00	152.08
Gasvraag woningen (GJ):	0	19192
Gasvraag ruimteverw. (GJ):	0	11560
Gasvraag tapwater (GJ):	0	7632
Warmtevr. woningen (GJ):	10317	0
Warmtevraag ruimteverw. (GJ):	8329	0
Warmtevraag tapwater (GJ):	1989	0
Netto collector opbrengst (GJ):	1293	0
Energiezone resultaten:		
Opgeslagen warmte (GJ):	0	0
Energievr. installatie (GJ):	23124	0
Elektr. prod. install. (GJ):	7862	0
Leidingverliezen (GJ):	2327	0
Kosten totaal (€)	3899911	3690677
Kosten energiezone (€)	1812998	913887
Kosten woningen (€)	2086913	2776790

At the bottom of the window, there are three buttons: 'Sluiten', 'Details', and 'Excel'.

Figuur 11: Resultaten wijk en zones.

Nu alle invoer van deze eenvoudige voorbeeld wijk is afgerond kunnen we de resultaten gaan bekijken.

Opdracht:

Klik op [Analyse] in het hoofdmenu en vervolgens op [Tabellen].

Een nieuw venster verschijnt en laat de belangrijkste resultaten van de berekeningen op energiezonenniveau zien (Figuur 11).

Onder in dit venster staan drie knoppen. De knop [Excel] kan gebruikt worden om de waarden uit de tabellen plus extra gegevens naar een Excel spreadsheet bestand weg te schrijven.

Opdracht:

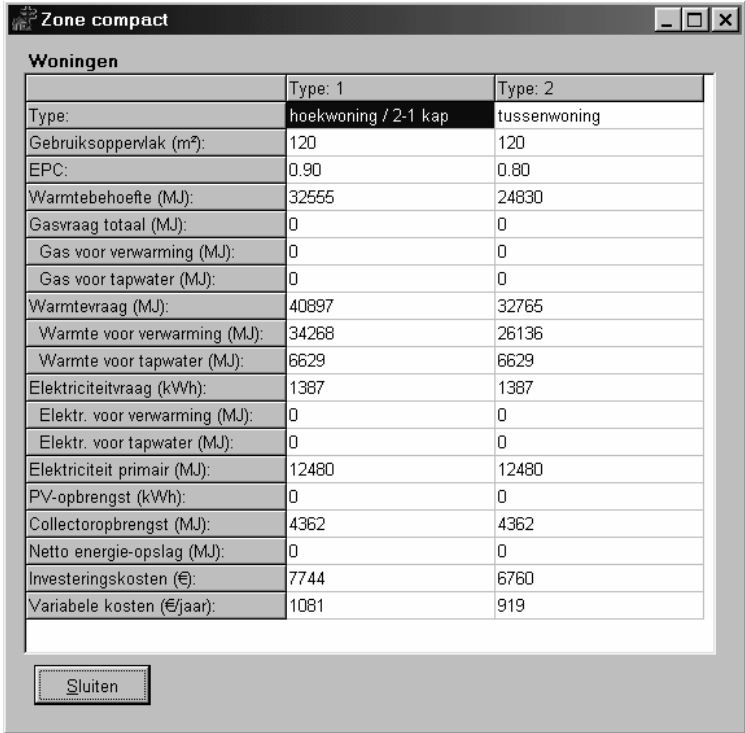
Klik op [Details]

Een nieuw venster verschijnt. Dit venster laat de belangrijkste resultaten van de berekeningen op woningniveau van de actieve energiezone (Zone compact) in het vorige venster zien.

Opdracht:

Maak het venster met de resultaten op energiezonenniveau weer actief door ergens op dit venster te klikken (niet op een van de twee knoppen). Versleep indien nodig het venster met de woning resultaten.

Maak nu de tweede energiezone actief (Zone ruim) door ergens in die kolom te klikken. Klik nu weer op de knop [Details].



Woningen	Type: 1	Type: 2
Type:	hoekwoning / 2-1 kap	tussenwoning
Gebruiksoppervlak (m ²):	120	120
EPC:	0.90	0.80
Warmtebehoefte (MJ):	32555	24830
Gasvraag totaal (MJ):	0	0
Gas voor verwarming (MJ):	0	0
Gas voor tapwater (MJ):	0	0
Warmtevraag (MJ):	40897	32765
Warmte voor verwarming (MJ):	34268	26136
Warmte voor tapwater (MJ):	6629	6629
Elektriciteitsvraag (kWh):	1387	1387
Elektr. voor verwarming (MJ):	0	0
Elektr. voor tapwater (MJ):	0	0
Elektriciteit primair (MJ):	12480	12480
PV-opbrengst (kWh):	0	0
Collectoropbrengst (MJ):	4362	4362
Netto energie-opslag (MJ):	0	0
Investeringskosten (€):	7744	6760
Variabele kosten (€/jaar):	1081	919

Figuur 12: Resultaten woningen “Zone compact”.

Een tweede venster met de belangrijkste resultaten van de berekeningen op woningniveau van de energiezone: Zone ruim verschijnt (Figuur 12). Woningen in verschillen de energiezones kunnen op deze manier met elkaar worden vergeleken.

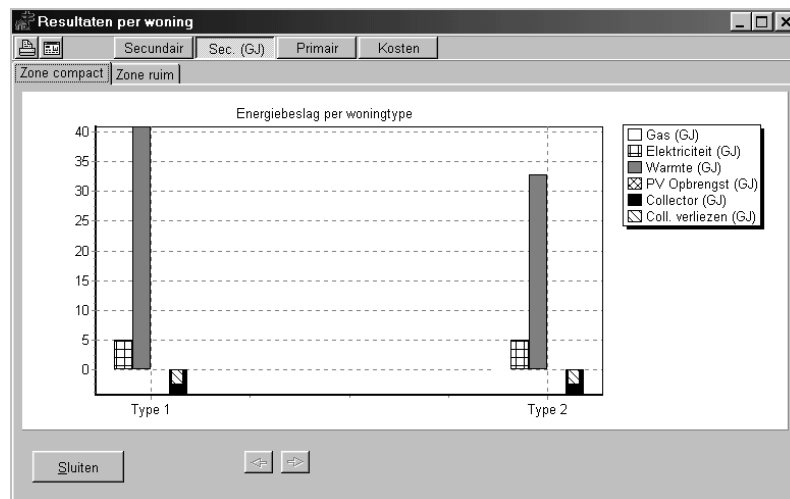
De resultaten van de analyses kunnen ook grafisch worden weergegeven.

Opdracht:

Sluit alle tabellen door op de [Sluiten] knoppen te klikken.

Klik op [Analyse] in het hoofdmenu, klik nu op [Grafieken] en vervolgens op [Woningen].

Een nieuw venster verschijnt (zie Figuur 13). In dit scherm ziet u het resultaat (in GJ secundair) van de berekening van de woningen in energiezone: Zone compact. Duidelijk is te zien dat het Type 2 woning een lagere warmte behoefte heeft dan het Type 1 woning. Dit is natuurlijk verklaarbaar uit het type woongebouw, tussenwoning versus hoekwoning. Ook zien we een negatieve energievraag, veroorzaakt door de warmteproductie van de zonnecollectoren. De witte balk geeft de hoeveelheid energie aan die door de zonnecollector wordt geproduceerd en daadwerkelijk wordt gebruikt door de bewoners van dit huis. De grijze balk geeft de hoeveelheid energie aan die wel wordt geproduceerd maar niet wordt gebruikt. Dit kan gebeuren wanneer de lokale opslag (de zonneboiler) de maximale temperatuur heeft bereikt voordat er weer warm water wordt afgetapt of voordat de zon de collector niet meer verwarmd.



Figuur 13: Uitvoer energiebeslag per woningtype.

Een groot collectoroppervlak heeft dan ook weinig zin wanneer de collector alleen aangesloten is op een lokaal voorraad vat. Anders wordt dit wanneer de collector aangesloten is op een seizoensopslagsysteem.

Opdracht:

Sluit dit grafiekvenster. Verlaag het collector oppervlak in het Type 2 huis tot 2 m². Open hetzelfde grafiek venster weer.

De witte balk is duidelijk afgenomen maar de grijze balk is bijna geheel verdwenen.

U kunt de andere energiezone bekijken door op het andere tabblad te klikken. De knoppen boven in het venster geven de mogelijkheid om de resultaten op een andere manier te presenteren:

- Secundair: uitvoer in kWh en m³ aardgas;
- Primair: naast de geleverde energie wordt ook alle energie meegenomen die het heeft gekost op de geleverde energie te produceren;
- Kosten: de kosten van de diverse categorieën worden weergegeven.

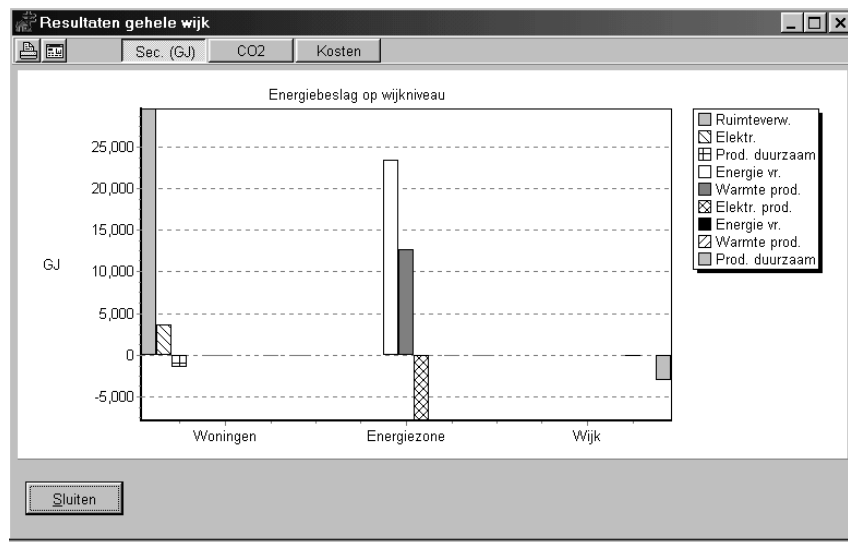
Opdracht:

Bekijk de mogelijkheden in dit venster.

Naast de energieprestatie van de diverse woningtypen kan ook de energieprestatie van de energiezone in een grafiek worden weergegeven.

Opdracht:

Klik op [Analyse] in het hoofdmenu, klik nu op [Grafieken] en vervolgens op [Energiezones].



Figuur 14: Uitvoer energiegebruik per energiezone.

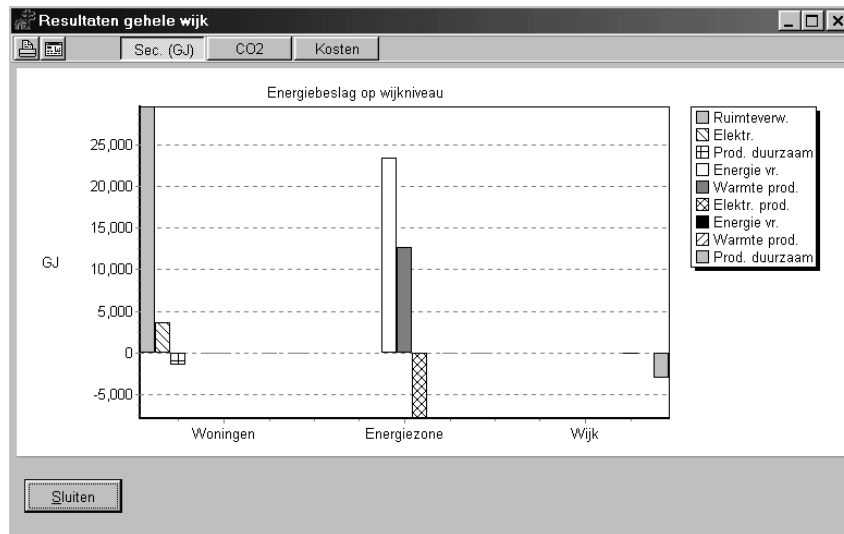
Een nieuw venster verschijnt (zie Figuur 14). In dit scherm ziet u het resultaat (in GJ secundair) van de berekening van de beide energiezones. In deze grafiek zijn duidelijk de grote verschillen tussen beide energiezones te zien. De eerste vier staafjes hebben betrekking op installatie e.d. op het energiezonenniveau. De staafjes 5 en 6 hebben betrekking op het totaal van alle woningen in de energiezone en het laatste staafje geeft een 'overall' indicatie voor de zone in zijn totaliteit. De eerste drie staafjes bij de energiezone compact hebben betrekking op de collectieve wkk installatie. Naast warmte voor de woningen wordt er ook elektriciteit geproduceerd (blauwe staafje). De energievraag in "Zone compact" is beduidend lager dan in "Zone ruim". Het laatste (zwarte) staafje geeft aan hoeveel primaire energie er in de energiezone gebruikt wordt ten behoeven van ruimteverwarming, warm tapwater en elektriciteit, verminderd met de in de collectieve installatie geproduceerde elektriciteit. In "Zone ruim" is dit laatste beduidend hoger.

Opdracht:

Sluit het grafiekvenster.

Klik op [Analyse] in het hoofdmenu, klik nu op [Grafieken] en vervolgens op [Wijk].

In deze grafiek wordt een overzicht getoond van de energieprestatie van de gehele wijk (zie Figuur 15). Links in de grafiek staan drie staafjes met betrekking tot het totaal van alle woningen, midden in de grafiek staan de resultaten van de gesommeerde energiezones (drie staafjes) en rechts de resultaten op wijkniveau (drie staafjes).



Figuur 15: Uitvoer, energiegebruik voor de gehele wijk, zones en alle woningen.

Opdracht:

Klik op de knop [Kosten].

In deze grafiek heeft het eerste staafje betrekking op de gemaakte kosten voor de voorzieningen op wijkniveau (windturbine). De laatste twee staafjes hebben betrekking op respectievelijk de energiezones en de woningen.

Opdracht:

Klik op de knop [CO2].

In deze grafiek hebben de eerste drie staafjes betrekking op de CO₂-emissies of vermeden emissies voor het totaal van de woningen. De staafjes 4 en 5 hebben betrekking op het totaal van de energiezones en staafje 6 op de voorzieningen op wijkniveau.

Scenario vergelijking

In dit model is het ook mogelijk om verschillende analyses of scenario's van eenzelfde wijk naast elkaar te zetten in één grafiek. Hiervoor gaan we eerst een kleine aanpassing maken in onze voorbeeld wijk.

Opdracht:

Sluit het eventueel openstaande grafiekvenster.

Maak “Zone compact” actief. Verander de collectieve installatie van “wkk” in **warmtepomp**. Het warmtenetwerk moet nu **midden temperatuur** worden. Verander bij de woning het verwarmingslichaam in **radiator/convector LT 55/45**.

In “Zone ruim” krijgen in dit scenario alle woningtypen een **goede** isolatie.

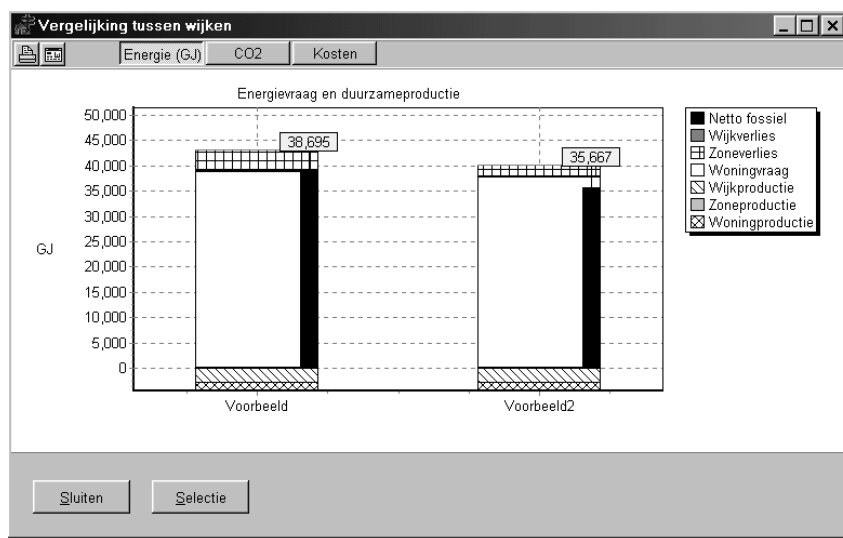
Selecteer nu in het hoofdmenu de optie [Bestand] kies voor [Opslaan als] en noem dit alternatieve scenario: **Voorbeeld2**.

Er zijn nu twee scenario’s voor onze voorbeeld wijk.

Opdracht:

Klik op [Analyse] in het hoofdmenu, klik nu op [Grafieken] en vervolgens op [Vergelijking].

Selecteer de scenario’s “Voorbeeld.out” en “Voorbeeld2.out” door de <Ctrl> toets ingedrukt te houden en met de muiscursor de scenario’s aan te klikken. Klik vervolgens op de pijl die naar recht wijst en klik op [OK].



Figuur 16: Uitvoer, vergelijking scenario’s.

Beide scenario’s worden nu in één grafiek getoond. In deze grafiek (Energie (GJ)) is de elektriciteit omgerekend naar de energie die nodig was om de elektriciteit te produceren. De energievraag van de woning bestaat uit de gas-, warmte- en elektriciteitsvraag. Bij de wijk en energiezone worden alleen het verlies van de eventueel aanwezige centrale opwekking en de leiding verliezen (inclusief de verliezen in de onderstations) meegenomen. Indien er ook elektriciteit wordt geproduceerd in deze centrale installaties, dan wordt hiervoor gecorrigeerd. In dit geval wordt het verlies, dat toegekend wordt aan de productie van warmte bepaald door de verliezen in de centrale en is evenredig met het afzonderlijke rendement voor de opwekking van warmte en elektriciteit. Indien er sprake is van het gebruik van afvalwarmte dan wordt hieraan geen energiegebruik gekoppeld.

Onder productie wordt hier de duurzame productie verstaan m.b.v. zon en wind. De smalle zwarte balk geeft het netto fossiel energiegebruik weer.

Het scenario van “Voorbeeld2” gebruikt de minste energie. Op deze manier kunt u wijzigingen in een wijk doorvoeren en vervolgens bekijken wat de effecten van deze wijzigingen zijn.

Een blik in de toekomst

Enkele bij de berekeningen gebruikte waarden die van grote invloed kunnen zijn op de uitkomsten zijn sterk tijdsafhankelijk. De belangrijkste zijn hier het rendement waarmee elektriciteit wordt geproduceerd en de hiermee gepaard gaande CO₂-emissies en de penetratiegraden van de ‘hot-fill’ en gasgestookte apparaten. Daar wijken en de bijbehorende infrastructuur voor meerdere decennia worden vastgelegd kan het zaak zijn om te weten hoe het energiebeslag en de CO₂-emissies van een wijk kunnen veranderen afhankelijk van de veranderingen in de hier boven genoemde variabelen. Daarom kunnen in de database toekomstige waarden voor deze variabelen worden opgenomen. Door nu het “zichtjaar” in het venster met de wijkgegevens te veranderen zoekt het model naar het jaar in de database met de daarbij behorende jaar dat het dichtst ligt bij het opgegeven zichtjaar.

Opdracht:

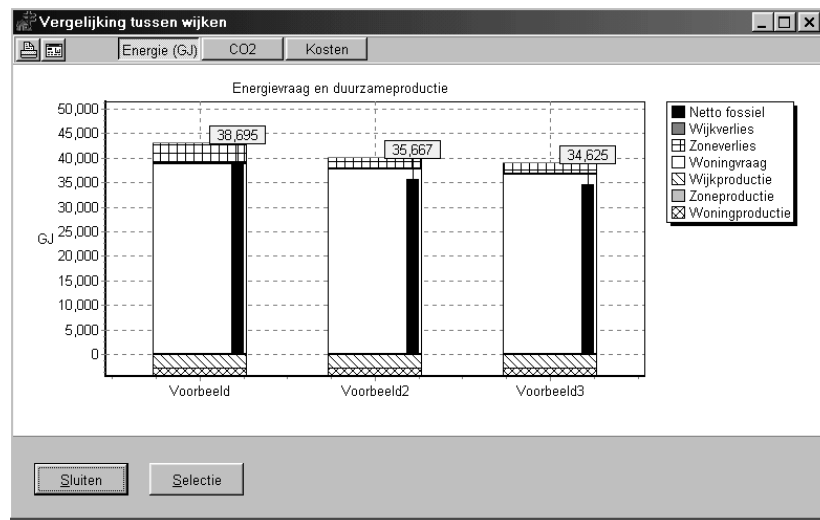
Sluit de eventueel openstaande grafiekvensters.

Open het voorbeeld2 bestand indien dit nog niet actief is.

Verander het zichtjaar in het wijk-invoervenster in **2025** en sla dit scenario op onder de naam scenario3.

Klik op [**A**nalyse] in het hoofdmenu, klik nu op [**G**rafieken] en vervolgens op [**V**ergelijking].

Selecteer de scenario's “Voorbeeld.out”, “Voorbeeld2.out” en “Voorbeeld3.out” door de <Ctrl> toets ingedrukt te houden en met de muiscursor de scenario's aan te klikken. Klik vervolgens op de pijl die naar recht wijst en klik op [OK].



Figuur 17: Uitvoer, vergelijking 3 scenario's.

Figuur 17: **Uitvoer, vergelijking 3 scenario's** laat duidelijk de invloed van de verandering van het zichtjaar zien. Het verschil in energie moet gezocht worden in een efficiëntere opwekking van elektriciteit.

Hoewel de rondleiding niet volledig is, zijn de belangrijkste opties in het model wel aan de orde geweest. Ongetwijfeld is niet alles geheel duidelijk. Mocht dit het geval zijn raadpleeg dan eerste de in het programma aanwezige context gevoelige help.

Referenties

- Aarssen, M.M. van (14/3/2003). Persoonlijke mededeling, IF Technology BV, Arnhem.
- Aarssen, M.M. van (14/3/2003). Notitie ref.3200/50830/MvA, IF Technology BV, Arnhem.
- Amos, W.A. (1998). *Costs of storing and transporting hydrogen*. National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-570-25106, Colorado.
- Beckers, G.J.J. (1/11/2002). Persoonlijke mededeling, ECN, Petten.
- Boels et al. (1994). *Syrenestudie Infrastructuur Brandstoffen; Distributie van energiedragers*. Centrum voor energiebesparing en schone technologie, Delft.
- Beurskens, J. (11/9/2002). Persoonlijke mededeling (email), ECN Unit Wind Energy, Petten.
- Boekema (28/3/2002). Persoonlijke mededeling (telefoon), Ingenieursbureau Het Noorden, Groningen.
- Bongaerts, M. (12/12/2002). Persoonlijke mededeling, Continuon Netbeheer, Arnhem.
- Brouwer, W. en van Lierop (1996). *Duurzame mogelijkheden van infrastructuur; Hoofdrapport*. K.0937.01.001, DHV-Milieu en Infrastructuur.
- Bussel, F.J.M. van (1996). *Warmtedistributie; Basisgegevens*. Novem, Sittard.
- Bussel, F. (28/11/2002). Persoonlijke mededeling, Novem, Sittard.
- Duesmann, H. (24/6/2002). Persoonlijke mededeling, Essent Netwerk Noord N.V., Groningen.
- Duesmann, H. (25/6/2002). Persoonlijke mededeling, Essent Netwerk Noord N.V., Groningen.
- Duesmann, H. (23/12/2002). Persoonlijke mededeling, Essent Netwerk Noord N.V., Groningen.
- Energiened (1998a). *Basisonderzoek Electriciteitsverbruik Kleinverbruikers 1998*. bestelcode 313145, Federatie van Energiebedrijven in Nederland, Arnhem.
- Energiened (1998b) *Basisonderzoek Aardgasverbruik Kleinverbruikers 1998*. M&C 99-323, Federatie van Energiebedrijven in Nederland, Arnhem.
- Gieselaar, D. (2001). *De markt voor warmtewinning uit asfalt*. Ekomatic Solar Energy Consultancy, Rotterdam.
- Hendriks, C.A., et al. (2000). *Costs of Carbon Dioxide Removal by Underground Storage*. paper GHGT-5, Cairns, Australië, Ecofys Energy and Environment / NITG-TNO, Utrecht.
- Jansen, B. (18/12/2002). Persoonlijke mededeling, Nuon NV, Arnhem.
- Jansen, B. (6/5/2002). Persoonlijke mededeling, Nuon NV, Arnhem.
- Jansen, B. (27/5/2002). Persoonlijke mededeling, Nuon NV, Arnhem.
- Krevel, A. (22/10/2002). Persoonlijke mededeling, Techneco BV, Delft.
- Laag, P.C. van der en G.J. Ruijg (2002). *Micro-warmtekrachtsystemen voor de energievoorziening van Nederlandse huishoudens*. ECN-C-02-006, ECN, Petten.
- Leijendeckers, P.H.H., et al, (2002). *Energie Zakboek*. 3e druk, isbn 9062283217, Elsevier.
- Meijer, A. (2001). *In de wind gezien..., Risicoanalyse van een gepland windturbinepark bij Delfzijl, aangevuld met een aanzet tot een meer fundamentele analyse van de risico's van energie-opwekkingstechnologieën*. IVEM-doctoraalverslag nr.137, Rijksuniversiteit Groningen.
- Menkveld, M., et. al. (2002). *Flexibele Energie-infrastructuur in woningen*. ECN-C-02-014, ECN, Petten.
- Milieufederatie Groningen (2002). *Waterzijdig inregelen: Tel uit je winst*. Groningen.

- Nederlands Normalisatie-instituut (1998). *NEN 5128: 1998 (Energieprestatie van woningen en woongebouwen - bepalingmethode)*. Nederlands Normalisatie-instituut.
- Nederlands Normalisatie-instituut (1999). *NPR 5129: 1999 (Energieprestatie van woningen en woongebouwen – Rekenprogramma (EPW) met handboek)*. Nederlands Normalisatie-instituut.
- Niekerk, G. van (4/12/2002). Persoonlijke mededeling, Siemens Metering BV, E&L EV ME, Den Haag.
- NOVEM (2000). *OEI: de aanpak*. NOVEM, Utrecht.
- NOVEM (2000b). *Vademecum Energiebewust ontwerpen van nieuwbouwwoningen*. NOVEM, BOOM,
- Ogden, J.M. (1999). Prospects for building a hydrogen energy infrastructure, In: *Annual Reviews Environment* 1999, 24:227-79., www.annualreviews.org.
- Qualm, A. (27/11/2002). Persoonlijke mededeling, Honeywell BV, Amsterdam.
- Reijers, H.Th.J., et al. (2001). *Evaluatie van waterstof-gebaseerde concepten en systemen; rapport fase 1*. ECN-C-01-019, ECN-Brandstoffen Conversie & Milieu, Petten.
- Simbeck, D. en E. Chang (2002). *Hydrogen Supply: Costs Estimate for hydrogen Pathways-Scoping Analysis*. NREL/SR-540-32525, SFA Pacific, Inc. Mountain View, Californië.
- Sloof, M. (21/06/2002). Persoonlijke mededeling, Picom Handel & Industrie BV, Hilversum.
- Snelleman, S. (22/10/2002). Persoonlijke mededeling, Techneco BV, Delft.
- Snelleman, S. (11/3/2003). Persoonlijke mededeling, Techneco BV, Delft.
- Sprenkels-Dado, H.J.M. (4/12/2002). Persoonlijke mededeling, Agpo BV, Breda.
- Strootman, K.J. (2002). *Ecobuild Meetverslag; Warmteterugwinning douchewater*. ECN-C-02-028, ECN, Petten.
- Tillemans, F.W.A. en A. de Groot (2002). *Evaluation of benefits and barriers of hydrogen in residential districts; Final report*. ECN-Clean Fossil Fuels, ECN-C-01-020, Petten.
- Verlinden, J. en W. Fellendans (1998). *Energievisie Malburgen; Eindrapport*. Centrum voor energiebesparing en schone technologie, Delft.
- Weiden, A. van der (3/06/2002). Persoonlijke mededeling, Novem BV, Sittard.
- Weijers, E.P., et al. (2000). *Het energieke wegdek; Inventarisatie van duurzame mogelijkheden van energieopwekking langs de snelweg*. ECN-C-00-118, ECN, Petten.
- Wijsman, A.J.Th.M. en D.J. Kortschot (1987). *Monitoring the Groningen Solar Energy System with seasonal heat storage in the soil; Final report*. Technisch Fysische dienst TNO-TH, Delft.
- Wit, G. de (21/10/2002). Persoonlijke mededeling, Royal Haskoning BV, vestiging Groningen.

Internetsites

- www.greenprices.nl/nl/newsitem.asp?nid=539
- www.nma-dte.nl
- www.nuon.nl
- www.warmtelevering.novem.nl
- www.logstor.com
- www.ltv.novem.nl/new_ltv/draaiboek/img_draai/pdf/...
- www.tho.nl/winkel
- www.techneco.nl/frameset.html
- www.pde.nl

www.essent.nl
www.nefit.nl
www.agpo.nl
www.beldezon.nl
www.daalderop.nl
www.den.novem.nl
www.milieucentraal.nl
www.kieskeurig.nl
www.knmi.nl/search/
www.bosch.nl
www.awb.nl
www.epk.nl/index-flash.htm
www.winnerway.nl
www.if-technology.nl
www.ecn.nl/sf/research/micro_cogen/index.nl.html
www.nordic-europe.com
www.delta.nl
www.remu.nl
www.core-international.nl
www.rietpol.nl/producten.htm#temp1
www.epn.novem.nl/maatregelen/01030200.htm
www.den.novem.nl/wind/meer/data/61.htm
<http://krant.telegraaf.nl/krant/archief/20020517/teksten/...>
www.jenbacher.com/www_english/jenbacher_ie.html
www.enatec.com
www.solarmarket.nl
<http://www.energie.nl/index2.html?evn/1998/evn98t051.html>
<http://www.energieopslag-in-de-bodem.nl/algemeen/financieel.htm>
www.lagerwey.nl
www.schoonschrift.nl/inh70/730.htm
www.nitg.tno.nl/ned/appl/g_space/storage/index.shtml
<http://www.ecofys.com/climate/CO2Cairns.pdf>

Bijlage A: Berekening minimale lengte warmtenet

De lengte van het warmtenetwerk kan door de gebruiker worden ingevoerd of men kan deze door het programma laten berekenen. Het programma berekend dan de minimale lengte. Hieronder wordt deze berekening beschreven.

Voor deze berekening is de volgende aanname gemaakt:

- Alle aansluitpunten van de woningen liggen op een vierkantrooster.
- Voor woongebouwen worden alleen de woningen uit de onderste bouwlaag meegeteld voor het bepalen van de netwerk lengte.

De afstand tussen de roosterpunten is dan gelijk aan het oppervlak van de energiezone gedeeld door het aantal aansluitpunten (=woningen+woningen uit onderste woonlaag van een woongebouw).

De minimale lengte van een netwerk om alle aansluitpunten met een onderstation te verbinden is dan: (het aantal aansluitpunten – 1) maal de afstand tussen de roosterpunten.

De lengte van het primaire netwerk is afhankelijk van het aantal onderstations en het oppervlak van de energiezone. Daarom moet eerst het aantal onderstations, dat nodig is om de warmte over de hele energiezone te verspreiden, berekend worden.

Eerst wordt het minimale aantal onderstations berekend, dat nodig is het oppervlak van de hele energiezone te bestrijken.

De maximale straal vanaf het onderstation, waarbinnen de woningen moeten liggen, is 500 meter [Jansen, 6/5/2002]. In de berekening wordt uitgegaan van een vierkant gebied bij elk onderstations. Dit levert met de maximale straal van 500 meter en diagonaal van 1000 meter. Hieruit volgt dat het maximale oppervlak waaraan één onderstation kan leveren 500000 m² is. Het oppervlak per onderstation is gelijk aan het oppervlak van de energiezone gedeeld door het aantal onderstations zoals hierboven berekend. Om extreme uitzonderingen (waarbij je natuurlijk geen warmtenet gebruikt) tegen te gaan, wordt ook nog gecontroleerd of het aantal onderstations niet groter is dan het aantal huizen (bijv. groot gebied met in elke hoekpunt één woning).

Meestal is de woningdichtheid zo groot, dat de volgende berekening geldt voor het aantal onderstations:

Het aantal onderstations is gelijk aan het aantal huizen met collectieve verwarming gedeeld door het maximale aantal huizen per onderstation (dit is gesteld op 375) [Jansen, 6/5/2002], afgerond naar boven. Dit moet natuurlijk groter dan, of gelijk zijn aan het minimum aantal onderstations, zoals hierboven berekend.

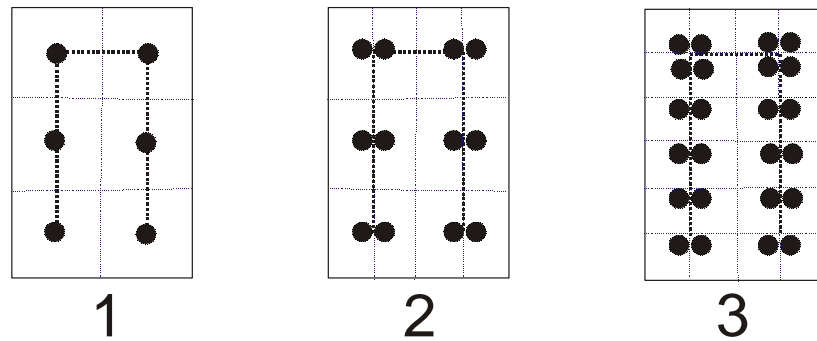
Wanneer het aantal onderstations bekend is, kan de primaire netwerk lengte berekend worden. Hierbij kunnen drie situaties optreden:

De woningdichtheid is niet zo groot. De onderstations liggen midden in het gebied, waaraan ze de warmte leveren.

De woningdichtheid is zodanig groot, dat het maximale woningaantal per onderstation bereikt wordt bij minder dan de helft van het maximale oppervlak bij een onderstation.

De woningdichtheid is zodanig groot, dat het maximale woningaantal per onderstation bereikt wordt bij minder dan een kwart van het maximale oppervlak bij een onderstation.

Je krijgt dan bijvoorbeeld de onderstaande configuraties:



Figuur 18: Schematische weergave van de plaatsing van onderstations

In de bovenstaande afbeeldingen zijn de cirkels de onderstations, de dikke stippellijnen het primaire netwerk en de dunne stippellijnen de grenzen van de gebieden bij de onderstations.

Voor situatie 1 geldt voor de netwerk lengte: $Lengte = Roosterconstante * (Aantal\ onderstations - 1)$.

Voor situatie 2 geldt voor de netwerk lengte: $Lengte = Roosterconstante * (Aantal\ onderstations / 2 - 1)$.

Voor situatie 3 geldt voor de netwerk lengte: $Lengte = Roosterconstante * (Aantal\ onderstations / 4 - 1)$.

De Roosterconstante is de wortel uit het oppervlakte dat bij een onderstation hoort. Dit oppervlak is gelijk aan de oppervlakte van de energiezone gedeeld door het aantal onderstations.

Situatie 1 geldt zolang het oppervlakte bij een station groter is dan de helft van het maximale stationsoppervlak.

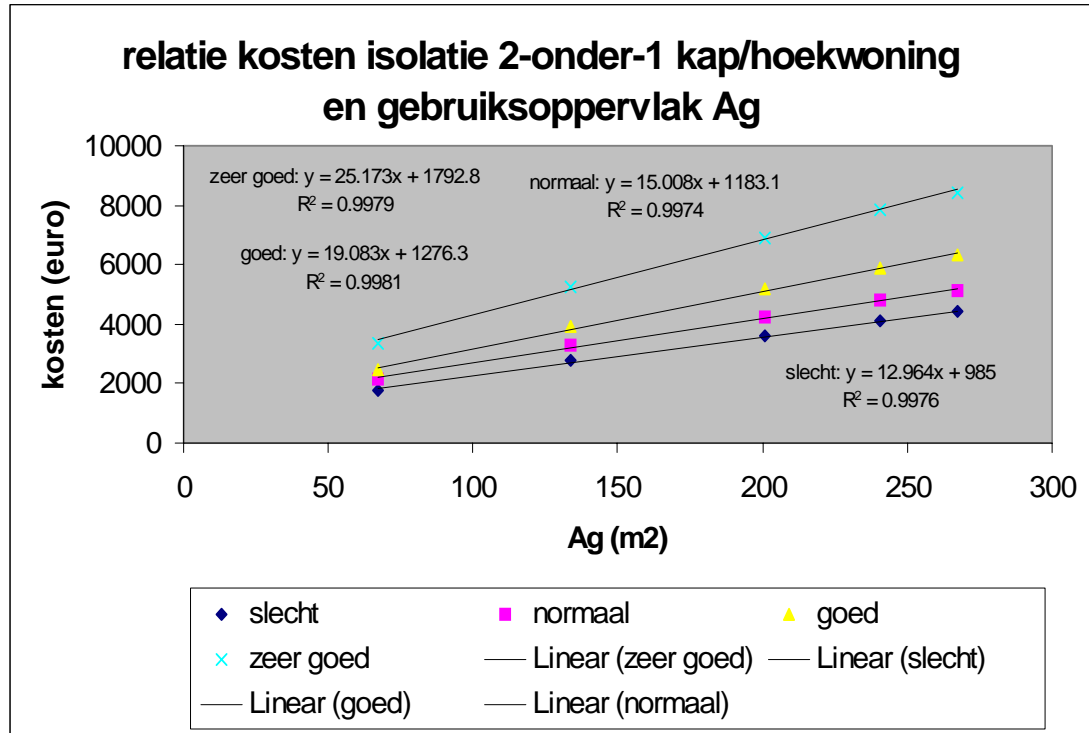
Situatie 3 geldt zolang het oppervlakte bij een station kleiner is dan een kwart van het maximale stationsoppervlak.

Situatie 2 geldt in alle gevallen daar tussenin.

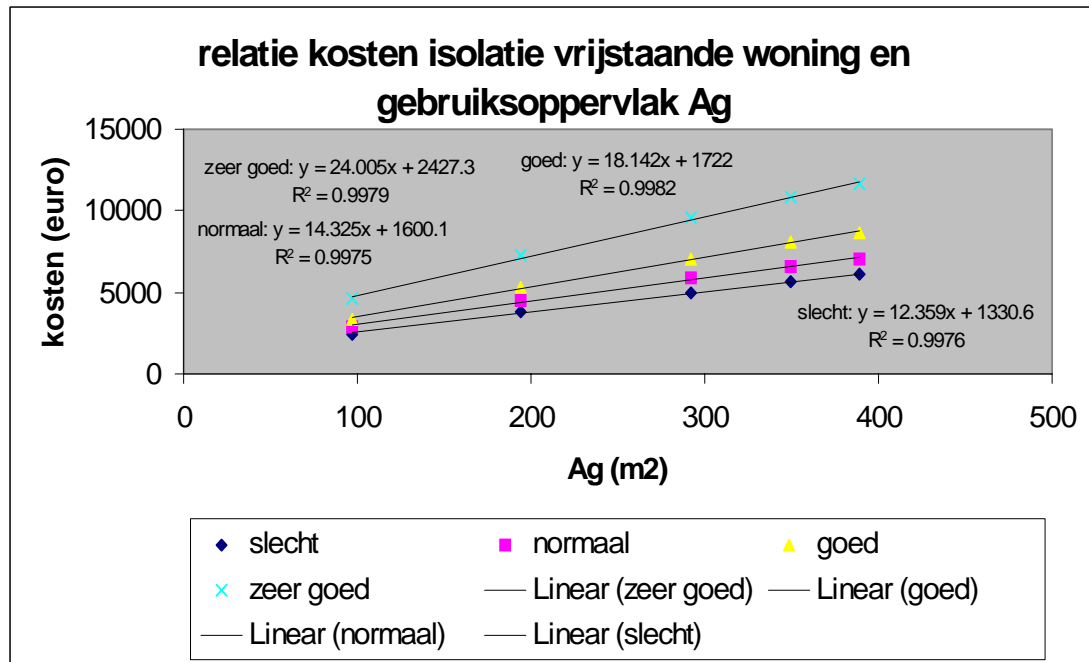
In werkelijkheid zal een energiezone natuurlijk niet zo egaal bebouwd zijn en zullen mengvormen van bovenstaande situaties ontstaan, waarbij in een deel met hoogbouw situatie 3 gebruikt wordt en in een ander deel, waar ruime rijtjeshuizen staan situatie 2 nodig is.

De gebruiker van het model zal daarom zelf moeten nadenken over de netwerk lengtes, maar hij kan de berekende lengtes gebruiken als een indicatie.

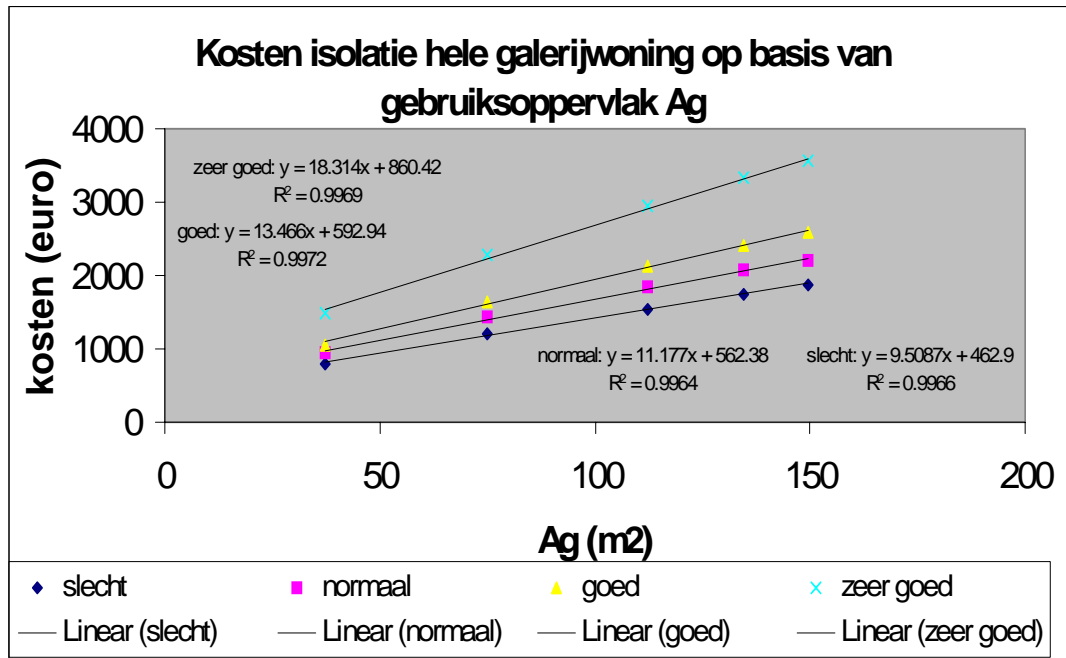
Bijlage B: Relatie tussen kosten en isolatie van drie type woningen.



Figuur 19: Relatie isolatiekosten 2-onder-1 kap/hoekwoning en gebruiksoppervlak.



Figuur 20: Relatie isolatiekosten vrijstaande woning en gebruiksoppervlak.



Figuur 21: Relatie isolatiekosten galerijwoning en gebruiksoppervlak.

Bijlage C: Achtergrondinformatie tariefstructuur warmtenetten woningbouw

Aansluitbijdrage

Bij warmtelevering is sprake van een tariefstructuur die is afgeleid van de levering van aardgas. Hierbij is het “niet meer dan anders” beginsel (nmda-beginsel) van toepassing. De doelstelling van dit beginsel is dat een bewoner van een woning met aansluiting op het warmtenet voor de energievoorziening niet meer betaalt dan een bewoner van een indientieke woning die gasgestookt is (www.nuon.nl).

Het nmda-beginsel gaat uit van een in de praktijk gemeten gebruiksrendement op basis van een groepsvergelijking tussen aardgas en warmtewoningen in Nederland. De groepsvergelijking wordt elke twee jaar uitgevoerd in een studie door het Centrum voor Marketing Analyses te Amsterdam (www.nuon.nl).

De aansluitbijdrage van warmte bestaat uit (www.warmtelevering.novem.nl):

- Aansluitbijdrage aardgas locatie;
- Vermeden investeringskosten voor standaard referentiesituatie met cv- ketel;
- Vermeden investeringskosten van vermeden EPN maatregelen.

De kosten voor de aansluitbijdrage van warmte zijn over het algemeen hoger dan die voor aansluiting op aardgas. Een tweetal redenen die hieraan ten grondslag liggen, zijn (www.warmteleving.novem.nl):

Ten eerste zijn de investeringen van het warmtenet (met twee geïsoleerde leidingen i.p.v. één gasleiding) zijn hoger.

Ten tweede moeten nieuwbouwwoningen moeten voldoen aan een Energieprestatienorm (EPN). In deze normering wordt warmtelevering (zeer) gunstig meegewogen, waardoor minder investeringen hoeven te worden gedaan in energiebesparende maatregelen dan bij gasgestookte woningen. Kortom een bewoner met aansluiting op een warmtenet hoeft minder te investeren in een huisinstallatie en in energiebesparende maatregelen (bijvoorbeeld isolatie vloer, wanden, dak en isolerende beglazing), echter de (jaarlijkse c.q. eenmalige aanleg-) kosten voor het warmtenet (buiten de woning) zijn veel hoger.

Doordat bij de aansluitbijdrage uitgegaan wordt van een referentiesituatie met aardgas, betaalt de bewoner de “fictieve” investeringskosten voor de extra benodigde isolatiemaatregelen. De “fictieve” extra investeringskosten voor een cv-installatie zouden weggestreept kunnen worden tegen de meerkosten voor het warmtenet in de straat in vergelijking met een aardgasnet.

Opmerking:

Doordat uitgegaan wordt van een energievoorziening met aardgas, zijn de tarieven bij aansluiting op warmtenetten op een indirecte manier gekoppeld aan de Regulerende Energie Belasting (REB) op aardgas.

Variabele kosten

Op de site www.warmtelevering.novem.nl staat vermeld dat de inkoop/productieprijzen (globaal) kunnen variëren tussen 0.68 en 5.45 €/GJ warmte. De prijsverschillen komen o.a. door de verschillende manieren waarop de inkoopprijs wordt berekend (www.warmtelevering.novem.nl).

De website vermeld drie methodieken:

- Margebasis
- Aardgasbasis
- Declaratiebasis

Margebasis

Bij de margebasis wordt een marge afgesproken die de warmtedistributiekosten moet dekken. Deze is gebaseerd op de verkoopprijs aan de afnemer, waarbij de verkoopprijs is vastgesteld op basis van het NMDA-principe.

Aardgasprijs

Tariefberekening vindt hier plaats op basis van de stookkosten voor aardgas in de energiecentrale. Alleen de kosten die aan het onderdeel warmteproductie worden toegerekend, zijn hierin meegenomen.

Declaratiebasis

Bij deze methode worden de kosten die het productiebedrijf maakt voor de opwekking van warmte doorberekend aan de afnemer. Hierbij is er geen directe relatie tussen de geleverde hoeveelheid warmte en de in rekening gebrachte kosten.

Bijlage D: Overzicht kosten voorgeïsoleerde leidingen Logstor-programma

(bronnen: www.logstor.com & mededeling Sloof, 21/6/2002)

De in de Tabel 20 t/m Tabel 22 weergegeven kosten bestaat alleen uit leidingmateriaal, exclusief montage en grondwerkzaamheden. Bovendien is er bij warmtenetten sprake van twee leidingen (aanvoer en retourleiding) in dezelfde sleuf.

Tabel 20: Overzicht prijs traditional manufactured pipes isolatieserie 1.

DN-maat	d (mm) (transp.buis)	D (mm) (buitendiam.)	u-waarde (W/mK)	Prijs (€m)
20.00	26.9	90	0.141	15.70
25.00	33.7	90	0.172	16.24
32.00	42.4	110	0.176	20.40
80.00	88.9	160	0.278	34.89
200.00	219.1	315	0.441	95.28
300.00	323.9	450	0.493	174.19
600.00	610	800	0.612	456.40

Tabel 21: Overzicht prijs traditional manufactured pipes isolatieserie 2.

DN-maat	d (mm) (transp.buis)	D (mm) (buitendiam.)	u-waarde (W/mK)	Prijs (€m)
20.00	26.9	110	0.121	16.11
25.00	33.7	110	0.143	16.64
32.00	42.4	125	0.156	19.86
80.00	88.9	180	0.234	35.96
200.00	219.1	355	0.341	109.24
300.00	323.9	500	0.383	199.42
600.00	610	900	0.434	549.54

Tabel 22: Overzicht prijs traditional manufactured pipes isolatieserie 3.

DN-maat	d (mm) (transp.buis)	D (mm) (buitendiam.)	u-waarde (W/mK)	Prijs (€m)
20.00	26.9	125	0.111	18.52
25.00	33.7	125	0.129	19.06
32.00	42.4	140	0.142	23.22
80.00	88.9	200	0.205	40.93
200.00	219.1	400	0.278	130.84
300.00	323.9	560	0.308	237.93
600.00	610	1000	0.344	653.54

Gehanteerde kosten in model

In tabel 4 staan de gehanteerde kosten in het model. Hieronder volgt een toelichting hoe tot deze waarden is gekomen.

Toelichting berekening en aannames:

In stap 1 wordt de factor bepaald die de kosten corrigeerd voor montage, lassen/leggen en grondwerkzaamheden.

Omdat niet van alle benodigde DN-maten (25 t/m 150) de kosten bekend zijn, moeten deze worden bepaald op basis van de wel aanwezige gegevens. Dit gebeurt in stap 2.

Stap 1:

Om te corrigeren voor bovengenoemde punten is gebruik gemaakt van gegevens uit het document "Warmtedistributie; Basisgegevens" (van Bussel, 05/1996). In dit document staan voor een aantal DN-maten (DN-maat 110 t/m 450) de kosten per meter sleuf (aanvoer+retour), uitgesplitst naar leidingmateriaal, montage, grondwerkzaamheden, straatwerk, bemaling en onderzoek.

Bestravingswerkzaamheden, bemaling en onderzoek zijn niet in de kosten van tabel 4 meegenomen. Deze aspecten kunnen aanzienlijk variëren per locatie.

Uit bovengenoemde basisgegevens (van Bussel, 05/1996) is bepaald wat de meerkosten zijn van leggen, lassen en grondverbetering t.o.v. alleen de kosten van het leidingmateriaal zelf. De meerkosten zijn uitgedrukt in een factorale toename.

Twee voorbeelden (na correctie voor inflatie):

Uit document Warmtedistributie; Basisgegevens (van Bussel, 05/1996) blijkt:

DN-maat 110 (*kosten per meter sleuf*):

Leidingmateriaal (inclusief bochten, appendages, T-stukken, etc.): €43.79

Lassen en leggen (inclusief lossen en uitrijden): €27.40

Grondverbetering 20cm rondom leidingen. Levering en aanbrengen normaal aanvulzand. Overblijvende grond kan ter plaatse worden verwerkt: €5.37

Totaal: €76.56

De factorale toename van de kosten t.o.v. alleen het leidingmateriaal: 1.75 (76.56/43.79).

DN-maat 250 (*kosten per meter sleuf*):

Leidingmateriaal (inclusief bochten, appendages, T-stukken, etc.): €252.52

Lassen en leggen (inclusief lossen en uitrijden): €88.65

Grondverbetering 20cm rondom leidingen. Levering en aanbrengen normaal aanvulzand. Overblijvende grond kan ter plaatse worden verwerkt: €14.51

Totaal: €355.67

De factorale toename van de kosten t.o.v. alleen het leidingmateriaal: 1.41 (355.67/252.52).

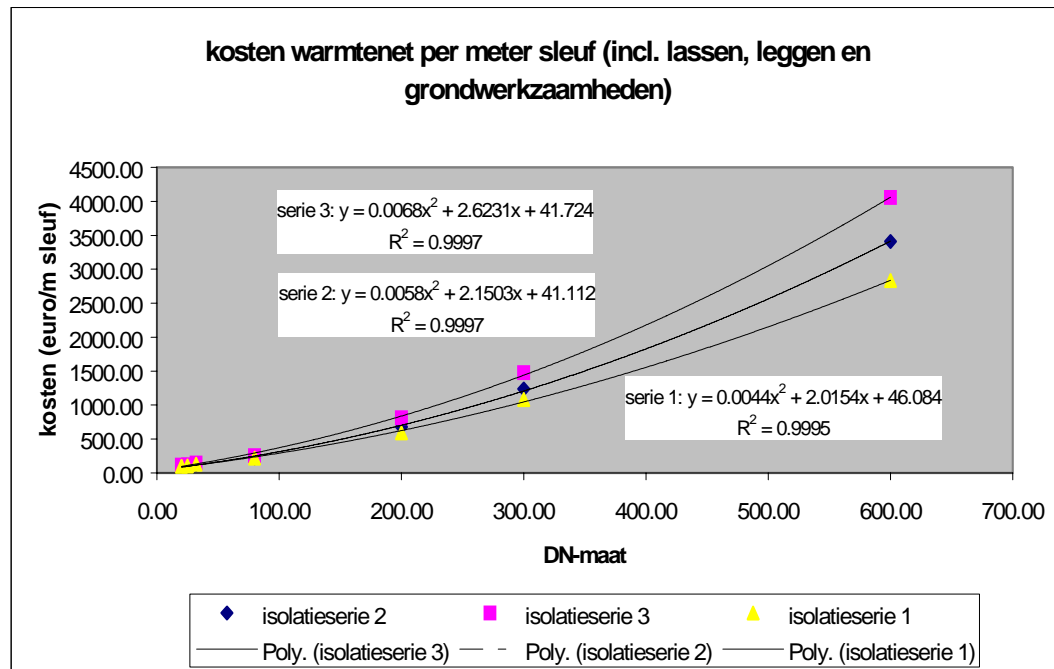
Voor de eenvoud is uitgegaan van een gemiddelde factorale toename op basis van de gegeven DN-maten 110 t/m 400 in van Bussel (05/1996). Deze factor is 1.55.

De genoemde bedragen in de tabellen 1 t/m 3 zijn enkele leidingen. Aangenomen is dat de aanvoer en retourleidingen in dezelfde sleuf bestaan uit gelijke DN-maten. Daarom worden de kosten vermenigvuldigd met 2 om de totale kosten aan leidingmateriaal per meter sleuf te verkrijgen.

De nieuwe factor komt hiermee op 3.10 (1.55*2). De kosten in de tabellen 1t/m 3 kunnen nu worden vermenigvuldigd met deze factor om de totale kosten per meter sleuf te verkrijgen.

Stap 2:

Omdat niet van alle benodigde DN-maten uit het model prijsgegevens (per meter sleuf) voorhanden zijn, moeten deze worden bepaald op basis van wel aanwezige prijsdata. Dit is gedaan door de DN-maat uit te zetten tegen de kosten per meter sleuf (dus de kosten uit de tabellen 1 t/m 3, vermenigvuldigd met een factor 3.10) en door de punten een lijn te fitten. Dit is gedaan voor isolatieserie 1 t/m 3. De resultaten staan in Figuur 22.



Figuur 22: Overzicht kosten warmtenet per meter sleuf op basis van DN-maat en isolatieserie.

Op basis van de gevonden vergelijkingen kan per DN-maat in het model de kosten worden bepaald. De resultaten staan in tabel 4.

Deze kosten omvatten:

- Leidingmateriaal;
- Leggen en lassen van leidingen, inclusief lossen en uitrijden;
- Grondverbetering 20cm rondom leidingen. Levering en aanbrengen normaal aanvulzand. Overblijvende grond kan ter plaatse worden verwerkt.

Tabel 23: Kosten isolatieserie 1, 2 en 3.

DN- maat	Serie 1 (€/m sleuf)	Serie 2 (€/m sleuf)	Serie 3 (€/m sleuf)
DN25	99.219	98.4945	111.5515
DN32	115.0824	115.8608	132.6264
DN40	133.74	136.404	157.528
DN50	157.854	163.127	189.879
DN65	195.675	205.3865	240.9555
DN80	235.476	250.256	295.092
DN100	291.624	314.142	372.034
DN125	366.759	400.5245	475.8615
DN150	447.394	494.157	588.189

Bijlage E: Overzicht kosten verwarmingstoestellen(bronnen: www.nefit.nl, www.agpo.nl, www.awb.nl, www.enatec.com)**HR-ketels**

Type	kWth	%	€
Nefit HR22, excellent	21.00	107.00	1226.89
AGPO, econpact	24.90	107.00	1131.00
Nefit HR30, excellent	28.40	108.00	1420.17
AGPO, econpact	31.30	107.00	1263.00
Nefit HR43, excellent	40.00	107.00	1841.18
Nefit HR65, excellent	60.00	108.00	2256.30
Nefit HR22, classic	21.00	107.00	1121.01
Nefit HR30, classic	28.40	108.00	1295.80
Nefit HR43, classic	40.00	107.00	1724.37
Nefit HR65, classic	60.00	108.00	2129.41

HR-combi-ketels

Type	kWth	%	€
Nefit HRC 22/CW4, excellent	21.00	107.00	1475.63
Nefit HRC 30/CW5, excellent	28.40	108.00	1757.14
Nefit HRC 22/CW, classic	21.00	107.00	1364.71
AGPO HR econpact CW3	24.70	107.00	1133.00
Nefit HRC 30/CW4, classic	28.40	108.00	1615.97
AGPO HR econpact CW4	31.30	107.00	1287.00
AGPO HR ultima CW5	34.80	107.00	1444.00

VR-ketels

Type	kWth	%	€
Nefit VR24	24.00	92.00	893.28
Aaname *)	28.40	92.00	985.00

*)afgeleid van Nefit VRC24/CW4, 28.4 kWth.

VR-Combi-ketels

Type	kWth	%	€
AGPO/FERROLI CW3	23.30	92.00	1044.00
Nefit VRC24/CW3	24.00	92.00	1024.37
Nefit VRC24/CW4	28.40	92.00	1115.97
AWB VRC 23.29 WT / CW3	23.00	75.80	853.00

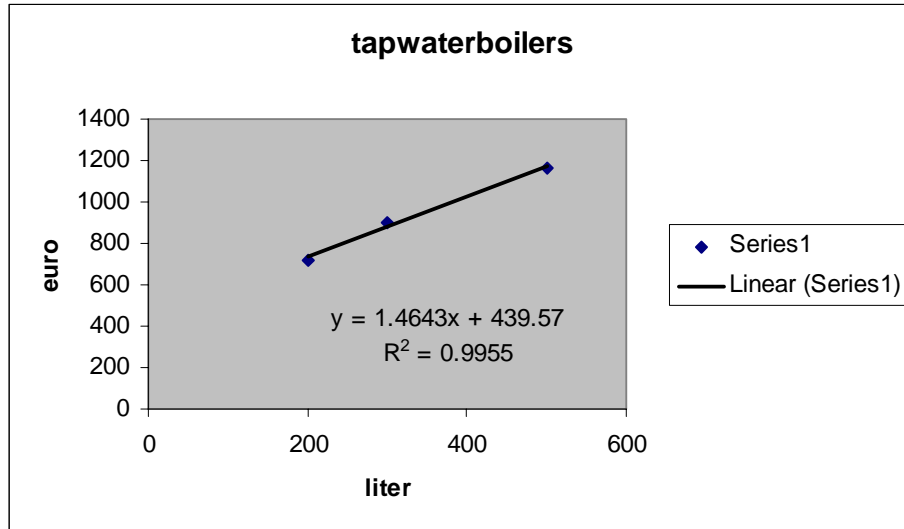
Micro-Wkk (indicatie)

Afgeleid van Nefit HRC 22/CW4 (21 kWth) en Nefit HRC 30/CW5 (28.4 kWth) door €700,- meerkosten te berekenen (€700,- meerkosten afkomstig uit van der Laag en Ruijg, 9/2002).

Type	kWth	€
ENATEC micro-cogen BV	21.00	2175.63
	28.40	2457.14

Bijlage F: Overzicht relatie kosten en boiler inhoud

(afgeleid uit bron: www.techneco.nl, prijslijst 2002)



Figuur 23: Relatie kosten en boilerinhoud

Bijlage G: Overzicht uitgangspunten en kosten isolatiepakketten

In Tabel 24 en Tabel 25 is een overzicht gegeven van de gehanteerde uitgangswaarden bij de berekening van de kosten. Alle genoemde bedragen zijn exclusief BTW en gebaseerd op website www.novem/epn (investeringskosten 2002) en www.isover.nl (catalogus 2003).

Tabel 24: Overzicht kosten ramen (incl. montage)

Vensterglas	€/m ²
Dubbel glas	32
HR-glas	36
HR+ glas	38.5
HR++ glas	48
Triple glas	75

Tabel 25: Overzicht kosten constructie (incl. montage)

Rc-waarde	Dikte isolatiemat. (mm)	Totale prijs (€/m ²)
Spouwmuur (glaswolspouwplaat, Mupan plus)		
2.5	80	10.2
3	95	11.8
4	115	13.7
5	150	17.3
Daksegmenten (glaswoldeken, Systemroll 200, 400, 600)		
2.5	110 (type 200)	5.8
3	130 (type 200)	6.45
4	170 (type 400)	11.1
5	110+110 (type 600)	14.3
Vloer (universele glaswolplaat, Unipan)		
2.5	90	7.75
3	100	8.6
4	70+70	11.2
5	90+90	13.5

Voor de montagekosten is aangenomen dat deze gemiddeld ca. 2 €/m² bedraagt (nieuwbouw). Er is geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende constructies.