

# **Configuraties en optimalisaties van het warmtenet in Amsterdam**

Technische en milieukundige  
achtergrondinformatie

## **Rapport**

Delft, april 2008

Opgesteld door: M.I. (Margret) Groot  
C. (Cor) Leguijt  
J.H.B. (Jos) Benner  
H.J. (Harry) Croezen



# Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

M.I. (Margret) Groot, C. (Cor) Leguijt, J.H.B. (Jos) Benner, H.J. (Harry) Croezen  
Configuraties en optimalisaties van het warmtenet in Amsterdam  
Technische en milieukundige achtergrondinformatie  
Delft, CE, 2008

Energievoorziening / Stadsverwarming / Milieu / Technologie / Innovatie / Kool-  
dioxide / Reductie / Gemeenten / Beleid

Publicatienummer: 08.3613.13

Alle CE-publicaties zijn verkrijgbaar via [www.ce.nl](http://www.ce.nl).

Opdrachtgever: Gemeente Amsterdam

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Margret Groot.

© copyright, CE, Delft

## **CE Delft**

### **Oplossingen voor milieu, economie en technologie**

CE Delft is een onafhankelijk onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.

De meest actuele informatie van CE is te vinden op de website: [www.ce.nl](http://www.ce.nl).

Dit rapport is gedrukt op 100% kringlooppapier.

# Inhoud

Voorwoord	1
1 Inleiding	3
1.1 Aanleiding en achtergrond	3
1.2 Doelstelling en leeswijzer	3
1.3 Methode	4
2 Stadsverwarming Amsterdam in beeld	5
2.1 Afzetgebieden	5
2.2 Warmtebronnen	6
2.3 Netwerk	7
3 Vergelijking van warmtebronnen	9
3.1 Principe van een CO <sub>2</sub> -reductieberekening van een WKC	9
3.2 Belangrijke variabelen in het model	11
3.3 CO <sub>2</sub> -reductie van de Amsterdamse centrales in WK-bedrijf	12
3.4 Wat is beter: de AVI of de Diemencentrale in WK-bedrijf?	14
3.5 Alternatieve berekening van de CO <sub>2</sub> -reductie van een WKC	15
3.6 Economische kenmerken van elektriciteitscentrales	16
4 Mogelijke configuraties van het warmtenet	17
4.1 Inleiding	17
4.2 De hoefijzeropzet	18
4.3 De ringbenadering	18
4.4 Coördinatietaak	19
4.5 De concrete situatie in Amsterdam	19
5 Mogelijkheden voor optimalisatie van milieuwinst	21
5.1 Inleiding	21
5.2 Innovatiemogelijkheden	22
5.2.1 Laag temperatuurverwarming (LTV)	22
5.2.2 Gebruik alternatieve warmtebronnen	24
5.2.3 Integratie met een koudevoorziening	25
5.3 Voorsorteren op andere warmtebronnen	29
5.4 Mogelijkheden voor groen gas	30
6 Samenvatting: visie op stadsverwarming in Amsterdam	33
7 Literatuur	37
A Warmtelevering in Amsterdam (2006)	41
B CO <sub>2</sub> -emissie toe te rekenen aan de warmtelevering	43
C Wat is beter: AVI of Diemen in WK bedrijf?	45



## Voorwoord

Amsterdam heeft onlangs ambitieuze klimaatdoelstellingen gesteld en een belangrijk speerpunt om deze doelstellingen te realiseren is stadsverwarming. Amsterdam biedt daarvoor namelijk uitermate goede mogelijkheden; enerzijds omdat er meerdere warmtebronnen zijn, van waaruit al diverse grote projecten met restwarmte worden beleverd, en anderzijds omdat er sprake is grootstedelijke ontwikkeling met grootschalige compacte bouw.

Strategisch overleg over de toepassing van warmte tussen de gemeente en de marktpartijen vindt regelmatig plaats, met name als er grootschalige nieuwbouw en herstructureringsprojecten op de rol staan. De gemeente heeft behoefte aan inhoudelijke ondersteuning op het gebied van warmte en heeft in dat kader CE Delft gevraagd achtergronddocumentatie daarvoor op te stellen. Dit rapport is daar het resultaat van; daarin wordt ingegaan op de huidige situatie van stadsverwarming, op de CO<sub>2</sub>-reductie, op de voordelen van een hoofzernet en op de innovatiemogelijkheden om de milieuwinst te verbeteren. Het rapport eindigt ten slotte met een managementsamenvatting, waarin de visie van CE Delft op stadsverwarming in Amsterdam is geformuleerd.



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en achtergrond

De stad Amsterdam heeft zich in de afgelopen decennia - uit het oogpunt van duurzaamheid - sterk gericht op het gebruik van restwarmte in de gebouwde omgeving. Amsterdam biedt daar namelijk uitermate goede mogelijkheden voor; enerzijds omdat er meerdere warmtebronnen zijn, van waaruit al diverse grote projecten met restwarmte worden beleverd, en anderzijds omdat er sprake is grootstedelijke ontwikkeling met grootschalige compacte bouw. Inmiddels heeft het college van B&W de ambitie uitgesproken om in 2025 de jaarlijkse uitstoot van CO<sub>2</sub> in de stad Amsterdam met 40% te reduceren (ten opzichte van 1990). In dat kader stelt thans de Dienst Milieu en Bouwtoezicht een Energievisie op voor de stad Amsterdam waarin de acties worden omschreven om deze doelstellingen te realiseren. Het gebruik van (rest)warmte zal daarin een belangrijk speerpunt zijn.

Strategisch overleg over de toepassing van warmte tussen de gemeente en de marktpartijen vindt regelmatig plaats, met name als er grootschalige nieuwbouw en herstructureringsprojecten op de rol staan. De gemeente heeft namelijk in haar beleid opgenomen dat bij nieuwbouwprojecten vanaf fase II in Amsterdam stadsverwarming wordt toegepast, tenzij uit nader onderzoek blijkt dat dit om locatiespecifieke kenmerken niet mogelijk is (zie de motie van raadslid Olmer van 11 januari 2006).

De beleidsmedewerkers van Amsterdam hebben door hun ervaring inmiddels goede basiskennis van stadsverwarming en andere warmteopties. Echter, bij sommige keuzes en in sommige discussies blijkt deze kennis - technisch en milieukundig gezien - niet diepgaand genoeg te zijn. Daardoor kunnen ze niet altijd de verschillende warmteopties die marktpartijen aanbieden goed op waarde schatten. De gemeente heeft daarom behoefte aan inhoudelijke ondersteuning op het gebied van warmte en heeft in dat kader CE Delft gevraagd hierover een document op te stellen.

## 1.2 Doelstelling en leeswijzer

*Het bieden van technisch-milieukundige achtergrondinformatie over de toepassing van (rest)warmte in Amsterdam, zodat de gemeente de juiste strategische keuzes kan maken ten aanzien van warmtegebruik en zodat de gemeente een gelijkwaardige gesprekspartner van de betrokken marktpartijen kan zijn.*

De doelstelling is naar wens van de gemeente opgesplitst in vijf deelvragen:

- 1 Stadsverwarming in beeld: hoe ziet de bestaande situatie eruit wat betreft beschikbare restwarmtebronnen het bestaande warmtenet en de afzet van warmte in Amsterdam?
- 2 Vergelijking warmtebronnen: wat zijn de voor en nadelen van elke warmtebron met betrekking tot duurzaamheid en (grofweg) de kosten?
- 3 Mogelijke configuraties: wat zijn de mogelijkheden (geen verbinding, hoefijzer- of ringnet), en wat zijn technisch gezien de voor- en nadelen daarvan?
- 4 Innovatiemogelijkheden; welke mogelijkheden zijn er voor het gebruik van alternatieve warmtebronnen en de integratie met een koudevoorziening? Aan welke voorwaarden moet een warmtenet voldoen, om daar later op te kunnen overstappen? Wat zijn de mogelijkheden van Groen Gas?

Deze vier vraagstellingen komen achtereenvolgens in de volgende hoofdstukken aan de orde. Het gaat hier om losstaande hoofdstukken, die zo nodig voor de leesbaarheid afsluiten met de belangrijkste conclusies. Het rapport eindigt - op verzoek van de opdrachtgever - met een visie van CE Delft op stadsverwarming in Amsterdam.

### 1.3 Methode

Bij het opstellen van dit document hebben we gebruik van bestaande literatuur eigen expertise en externe expertise. Dit laatste met name om inzicht te verkrijgen in de Amsterdamse situatie (onderdeel A) en in de specifieke vragen en discussiepunten die thans spelen. De externe expertise heeft CE Delft kunnen benutten via enkele persoonlijke interviews met de volgende deskundigen:

- de heer Roelof Potters van Nuon Warmte;
- de heer Martin Buijck van Nuon Warmte;
- de heer Robert Crammendam van Nuon Warmte.



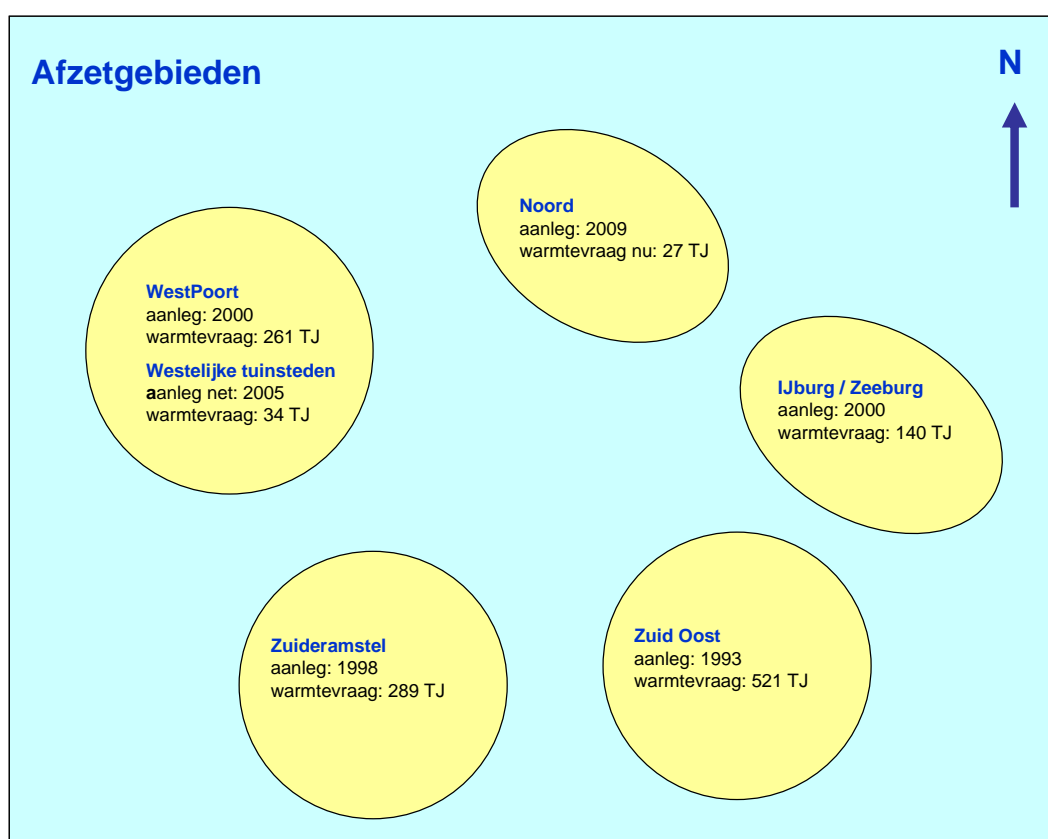


## 2 Stadsverwarming Amsterdam in beeld<sup>1</sup>

### 2.1 Afzetgebieden

Amsterdam is in vergelijking met andere steden relatief laat gestart met het aanleggen van warmtenetten en het benutten van restwarmte van elektriciteitscentrales. De eerste gebieden die op stadswarmte zijn aangesloten betreffen Zuidoost en Zuidoostlob en Amstelveen. De aanleg hiervan heeft in 1993 plaatsgevonden. Vervolgens is gestart met de aanleg van Zuideramstel en Amstelveen in 1998. IJburg en Westpoort zijn aangesloten in 2000 en Nieuw West in 2005. De aanleg van IJburg II staat op de planning voor 2009. In Figuur 1 staan deze gebieden schematisch weergegeven.

Figuur 1 Warmteafzetgebieden in Amsterdam



De warmteafzet in Amsterdam bedroeg in 2006 grofweg 1,4 PJ. Figuur 1 laat de grootste afzetgebieden zien in Amsterdam. Vooral in de stadsdelen Zuidoost, Zuideramstel en Westpoort is de afzet van warmte groot, omdat in deze gebieden veel utiliteit aanwezig is (zie bijlage A). In Noord is de warmtevraag thans nog laag, maar in dit gebied is nieuwbouw van woningen gepland. Een

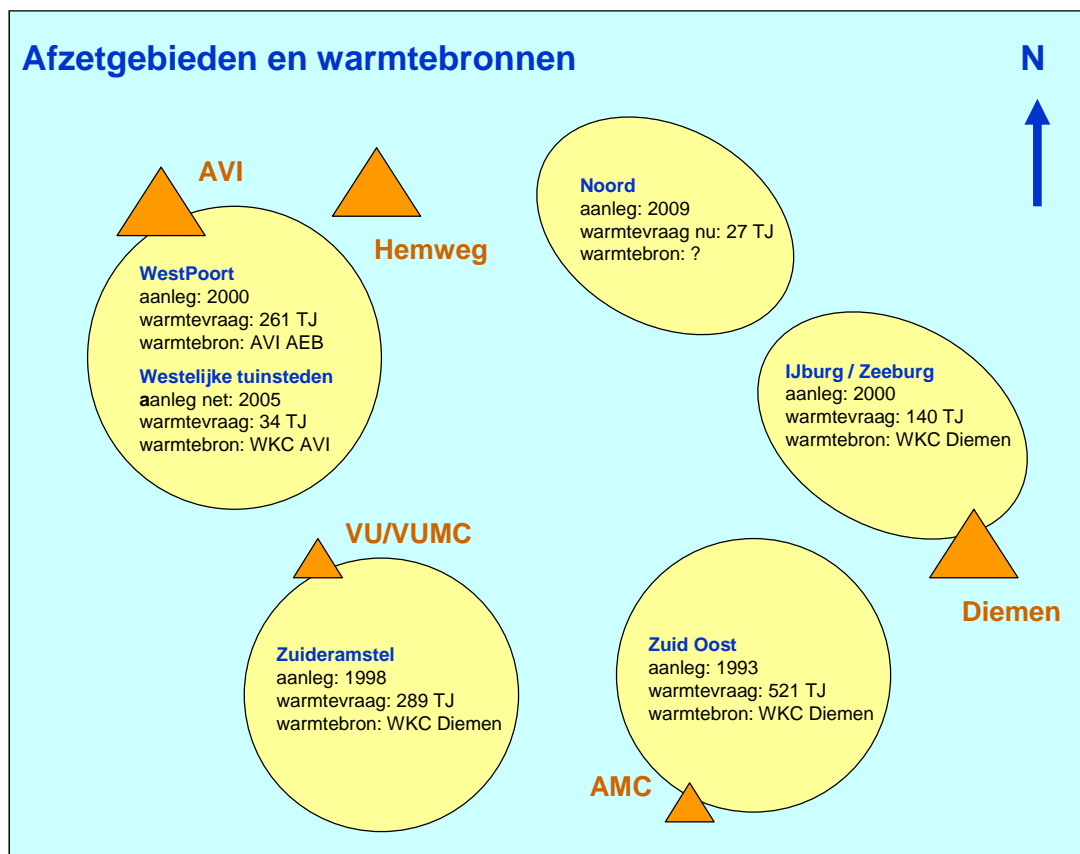
<sup>1</sup> Dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie van Energiebedrijf Nuon Warmte te Amsterdam.

aantal kleinere afzetgebieden van warmte is in dit figuur niet opgenomen. Het betreft hier de warmteafzet via kleinschalige warmtenetten die worden gevoed door mini WK centrales. Een compleet overzicht van de warmteafzet in 2006 - waarin ook de kleine afzetgebieden zijn opgenomen - is te vinden in bijlage A.

## 2.2 Warmtebronnen

In Amsterdam zijn er vijf elektriciteitscentrales die restwarmte leveren, zoals Figuur 2 laat zien. De centrales met veruit het meeste warmtepotentieel zijn de AVI, de Hemwegcentrale en de Diemencentrale. De twee andere centrales - VU/VUMC en AMC - zijn kleinschalig en leveren thans minder dan 1% van de warmteafzet in Amsterdam. Nuon is de eigenaar van de Hemwegcentrale en de Diemencentrale. De warmtelevering van de AVI wordt geëxploiteerd door het bedrijf Westpoort Warmte BV; een joint venture van het Afval Energie Bedrijf (gemeente Amsterdam) en energiebedrijf Nuon. Westpoort Warmte koopt en verkoopt warmte-energie. Verder houdt zij zich bezig met het exploiteren, aanleggen, onderhouden en beheren van een warmtedistributie en opslagsysteem.

Figuur 2 Warmtebronnen in Amsterdam



## **AVI**

De AVI is een afvalverbrandingsinstallatie van het Afval Energiebedrijf in Amsterdam (AEB). Kenmerkend voor deze centrale is dat zowel de elektriciteit als de warmte restproducten zijn en dat het aanbod van afval leidend is voor wanneer en op welk vermogen de installatie in bedrijf is. Bij het huidige aanbod staat de centrale continu aan. De AVI levert thans warmte aan de stadsdeel Westpoort in Amsterdam. Zoals eerdere aangegeven exploiteert WPW deze warmtelevering.

## **Hemwegcentrale**

De Hemwegcentrale is een kolencentrale. Kolencentrales worden primair ingezet als basislast in de Nederlandse energievoorziening. Uit economisch perspectief is dit gunstig; omdat de variabele kosten van deze centrale laag zijn door de lage brandstofprijs. De investeringskosten van deze centrales zijn wel hoog. Wat betreft het klimaat kunnen beter gascentrales de elektriciteit leveren, omdat bij verbranding van kolen grofweg twee keer meer CO<sub>2</sub> vrij komt dan bij verbranding van gas. De Hemwegcentrale levert thans nog geen warmte in Amsterdam.

## **Diemencentrale**

De Diemencentrale is een grootschalige gascentrale in het oosten van Amsterdam. De centrale is niet continu in bedrijf; wanneer en op welk vermogen de centrale energie produceert is afhankelijk van de elektriciteitsvraag én van de warmtevraag. Gas heeft in vergelijking met andere fossiele bronnen een relatief lage CO<sub>2</sub>-emissiefactor. Deze centrale levert thans veel restwarmte aan de stadsdelen Zuideramstel, Zuid Oost en beperkt aan Amsterdam Oud Zuid (zie bijlage A en Figuur 2).

## **2.3 Netwerk**

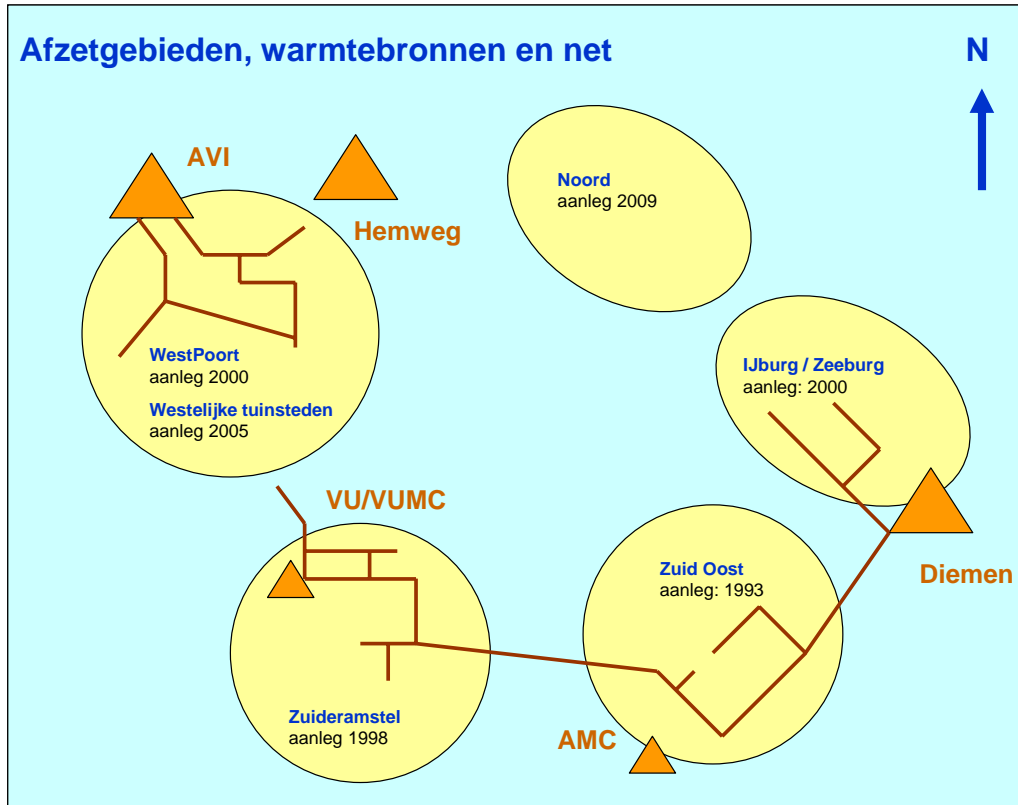
Het stadsverwarmingsnet in Amsterdam is vrij recentelijk aangelegd, zoals Figuur 3 laat zien. In dit figuur zijn schematisch de hoofdleidingen aangegeven. In 1993 is begonnen met de aanleg van het stadsverwarmingsnet in Zuidoost en Zuideramstel (zie Figuur 3). Vervolgens is er een warmtenet in Westpoort en IJburg aangelegd in 2000. Het warmtenet in de Westelijke Tuinsteden dateert van 2005 en ten slotte is de aanleg van een nieuw warmtenet gepland in 2009 in Amsterdam Noord.

In de aanvoerleiding is de temperatuur maximaal 120°C, maar deze kan lager zijn als er een kleine warmtevraag is zoals in de zomer. Uit oogpunt van efficiëntie is het streven om de temperatuur in de retourleiding zo laag mogelijk te krijgen. In dat geval is de warmte beter benut. Daarvoor is het nodig om in de secundaire netten zoveel mogelijk warmte af te koelen. Op de secundaire netten kunnen verschillende temperatuurregimes worden gevoerd. Secundaire netten in de bestaande bouw hebben een aanvoertemperatuur van 90°C en een retourtemperatuur van 70°C. In de nieuwbouw van Amsterdam is vaak midden-temperatuur verwarming toegepast. Daar is de aanvoertemperatuur 70°C en de retourtemperatuur van 40°C. Dit is mogelijk omdat er grotere radiatoren zijn toegepast dan de standaard radiatoren, en omdat de woningen energiezuinig zijn. In

Noord wordt thans al warmte geleverd, maar via een lokaal (klein) netwerk. Deze kleinere netten zijn niet in Figuur 3 opgenomen.

De hoeveelheid warmte die via het net geleverd kan worden is sterk afhankelijk van de diameter van de leidingen. Een klein deel van het hoofdnet in Westpoort heeft een diameter van 200 mm. Dit is de kleinste maat die is toegepast. De grootste maat die is toegepast is een binnendiameter van 900 mm (in Zuidoost). De maten die veruit het meeste zijn toegepast, zijn die van 400 mm of 500 mm.

Figuur 3 Warmtenet in Amsterdam



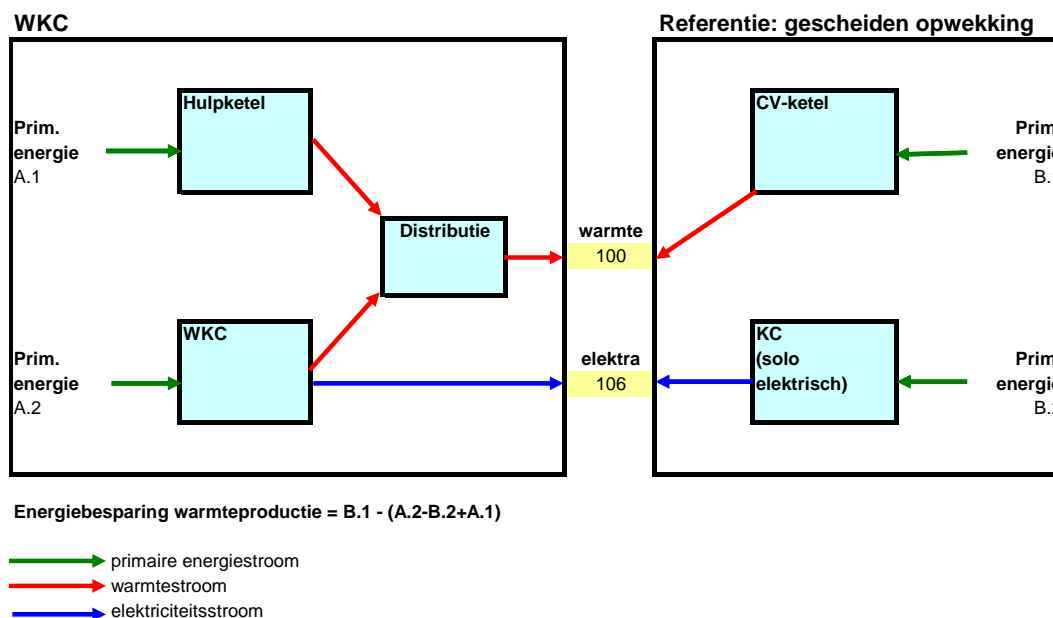
### 3 Vergelijking van warmtebronnen

In dit hoofdstuk geven we enerzijds inzicht in de variabelen die de klimaatwinst van de warmtebronnen bepalen, zodat beleidsmakers de informatie van marktpartijen beter kunnen interpreteren. Anderzijds maken we - met de gegevens die we beschikbaar hebben - een vergelijking van de mogelijke warmtebronnen in Amsterdam. De meeste gegevens die we daarvoor hebben gebruikt, waren niet openbaar. Deze hebben we ontvangen van het energiebedrijf Nuon.

#### 3.1 Principe van een CO<sub>2</sub>-reductieberekening van een WKC

Een WKC levert doorgaans CO<sub>2</sub>-reductie op - hoewel dat niet per definitie geldt - omdat de grote hoeveelheden warmte die bij de elektriciteitsopwekking vrijkomt een nuttige besteding krijgt. De restwarmte van een WKC is echter van een te lage temperatuur om gebouwen goed te kunnen verwarmen. Om restwarmte van een hogere temperatuur te verkrijgen, moet de elektriciteitsopwekking minder efficiënt plaatsvinden. Om uiteindelijk toch de hoeveelheid elektriciteit te produceren die nodig is, moet extra fossiele energie verbrand worden. Het aandeel extra fossiele energie dat daarvoor nodig is, wordt de bijstookfactor van een WKC genoemd.

Figuur 4 Principe van een CO<sub>2</sub>-reductieberekening voor een WKC



Om de energiebesparing van de WKC te kunnen bepalen is een referentie nodig voor zowel de elektriciteitsopwekking als voor de warmteopwekking. In de meeste gevallen wordt de HR ketel als referentie voor de warmteopwekking gekozen en de elektriciteitscentrale in solo elektrisch bedrijf voor de elektriciteitsopwekking. De energie die wordt toegerekend aan de warmte geproduceerd door

een WKC is dan de extra energie die nodig is in een WKC bij een zelfde elektriciteitsproductie. Hierbij wordt vervolgens de primaire energie van de hulpketel opgeteld. In Figuur 4 bedraagt de primaire energie die wordt toegerekend aan de warmte dus  $(A.2-B.2+A.1)$ . De CO<sub>2</sub>-reductie kan worden bepaald door dit resultaat met de benodigde primaire energie van een HR-ketel (B.1) te vergelijken, bij een gelijke warmteproductie.

Om de CO<sub>2</sub>-reductie te kunnen bepalen is een vermenigvuldiging van de primaire brandstof met de bijbehorende CO<sub>2</sub>-emissiefactor nodig. De emissiefactor van een brandstof wordt bepaald door de hoeveelheid koolstof die zich hierin bevinden. Dit is een fysisch gegeven en daarom een constante waarde. In onderstaand tekstkader is de berekening gedetailleerder toegelicht.

#### **Toelichting op Figuur 4**

##### **Inputvariabelen:**

- hoeveelheid geproduceerde warmte;
- thermisch rendement WKC;
- elektrisch rendement WKC;
- aandeel warmtelevering WKC;
- rendement hulpketel;
- aandeel warmtelevering hulpketel (deze is nodig om bij te verwarmen op piekmomenten);
- rendement CV-ketel;
- rendement solo elektrische centrale.

##### **Constante waarden:**

- emissiefactoren van de verschillende brandstoffen.

##### **Outputvariabelen:**

- benodigde primaire energie (en CO<sub>2</sub>-emissie) voor hulpketel (A.1);
- benodigde primaire energie (en CO<sub>2</sub>-emissie) voor WKC (A.2);
- benodigde primaire energie (en CO<sub>2</sub>-emissie) voor CV-ketel (B.1.);
- benodigde primaire energie (en CO<sub>2</sub>-emissie) voor solo elektriciteitscentrale (B.2.).

##### **Stappen in de berekening:**

- 1 Eerste wordt de hoeveelheid warmte die wordt opgewekt bepaald (100). Deze hoeveelheid wordt deels door de WKC geproduceerd en deels door de hulpketel, die op piekmomenten nodig is.
- 2 Aan de hand van de distributieverliezen, het aandeel van de WKC in de warmtelevering, het thermisch rendement en het elektrisch rendement wordt berekend wat de elektriciteitsproductie (106) is van de WKC bij een warmteproductie van 100, en wat de benodigde primaire energie (A.2.) is om deze hoeveelheden elektriciteit en warmte te produceren.
- 3 Aan de hand van het aandeel in de warmtelevering en het rendement van de hulpketel wordt de benodigde primaire energie voor de hulpketel bepaald, bij een warmteproductie van 100 (A.1).
- 4 Aan de hand van het rendement van de CV-ketel wordt de benodigde hoeveelheid primaire energie bepaald, bij een warmteproductie van 100 (B.1).
- 5 Aan de hand het rendement van de solo elektrische centrale wordt de benodigde hoeveelheid primaire energie bepaald voor een elektriciteitsproductie van 106 (B.2.).
- 6 De absolute energiebesparing is  $B.1 - (A.2 - B.2 + A.1)$ , om de relatieve energiebesparing te berekenen kan de uitkomst gedeeld worden door B1.
- 7 De CO<sub>2</sub>-reductie kan worden berekend door de primaire brandstofverbruiken te vermenigvuldigen met de bijbehorende emissiefactoren (zie paragraaf 3.2). Met deze CO<sub>2</sub>-emissies kan vervolgens dezelfde som worden gemaakt, als in stap 6 met de brandstofverbruiken.



## 3.2 Belangrijke variabelen in het model

Figuur 2 geeft aan welke variabelen nodig zijn om de energiebesparing te berekenen. Alle variabelen hebben logischerwijs een invloed op de CO<sub>2</sub>-reductie. Een viertal van deze variabelen willen we hier extra toelichten; omdat ze of een grote invloed hebben op de CO<sub>2</sub>-reductie of omdat er veel discussie over bestaat.

### Thermisch en elektrisch rendement WKC

De twee variabelen die een grote invloed hebben op de besparing aan primaire energie zijn het thermisch en het elektrisch rendement van de WKC. Hoe hoger beide rendementen zijn (in relatie met het solo elektrisch rendement), hoe efficiënter de warmte en de elektriciteit wordt opgewekt met de WKC en hoe groter de energiebesparing in vergelijking met de referentie.

### Referentie warmte

Bij de berekening van de energiebesparing van een WKC is zoals aangegeven een referentie voor warmteproductie en voor elektriciteitsproductie nodig. Voor de warmteproductie wordt doorgaans de CV-ketel als referentie gekozen; daar bestaat weinig discussie over. Wel bestaan er verschillende meningen over het rendement waarmee voor deze ketel gerekend moet worden. Sommigen gaan uit van een theoretisch (via de norm bepaald) rendement van de marktbeste techniek (zoals in de MEP-regeling) van circa 90%. Anderen gaan uit van praktijkrendementen van circa 86% (EnergieNed 2007), omdat door tapwaterverbruik het rendement van een CV-ketel daalt. In de bestaande bouw, waar nog veel meer VR-ketels kan dat zelfs op 70% liggen (Ligthart, 2004).

### Referentie elektriciteit

Wat betreft de referentie van de elektriciteitsproductie; daarbij zijn grofweg drie referenties te kiezen, die onderling erg verschillen in rendement:

- 1 De betreffende elektriciteitscentrale in solo elektrisch bedrijf.
- 2 De elektriciteitscentrale met het beste rendement (STEG).
- 3 De gemiddelde elektriciteitscentrale in Nederland.

#### *Ad 1 (centrale in solo elektrisch bedrijf)*

Bij grootschalige centrale elektriciteitsproductie-eenheden (waar het in dit rapport om gaat) is de centrale in solo elektrisch bedrijf de geëigende referentie. Deze productie-eenheden zijn nodig voor de Nederlandse energievoorziening en worden hoe dan ook ingezet voor elektriciteitsproductie. Bij deze centrales speelt dus niet de vraag of ze al dan niet geïnstalleerd of ingeschakeld moeten worden, maar daarbij speelt alleen de vraag in welk bedrijf ze milieukundig gezien het beste functioneren; in solo elektrisch of in warmtekrachtbedrijf. Als bijvoorbeeld bij een bestaande WKC op kolen, de gascentrale als referentie wordt gehanteerd, dan wordt vooral aangetoond dat een gascentrale minder CO<sub>2</sub>-emissie uitstoot dan een kolencentrale. Maar dat is een andere discussie en geeft geen antwoord op de vraag of het een klimaatvoordeel oplevert om een bestaande centrale in WK-bedrijf te stellen.

### Ad 2 (STEG) en ad 3 (gemiddelde centrale)

Bij kleinschalige WKK-centrales speelt wel de vraag of ze al dan niet geïnstalleerd of zelfs ingeschakeld moeten worden. Daarom is het bij deze centrales wel reëel om ze qua CO<sub>2</sub>-emissie te vergelijken met een centrale met het marktbeste rendement of met het gemiddelde elektriciteitspark.

#### Emissiefactor

Omdat de emissiefactoren van de verschillende brandstoffen onderling sterk kunnen variëren, is het type brandstof van de WKC zeer bepalend voor de CO<sub>2</sub>-reductie. Voor gas bedraagt deze 56,8 kg CO<sub>2</sub>/GJ, voor steenkool is deze 94,6 kg CO<sub>2</sub>/GJ en voor niet biogeen afval is dat 73,6 kg CO<sub>2</sub>/GJ (Vreuls, 2006). Echter aangezien circa 47% van de afval biogeen is (Bosselaar 2006) kan gemiddeld genomen uitgegaan van een emissiefactor van 39,0 kg CO<sub>2</sub>/GJ voor afval.

### 3.3 CO<sub>2</sub>-reductie van de Amsterdamse centrales in WK-bedrijf

#### Inputvariabelen

Aan de hand van bovenbeschreven model hebben we berekeningen gemaakt bij de uitgangspunten zoals genoemd in de volgende tabel. De thermische en elektrische rendementen zijn door CE Delft overgenomen uit bronnen of theoretisch afgeleid, op basis van technische kenmerken van de centrale. Aan de hand van praktijkrendementen - gemeten door de energiebedrijven - kan de CO<sub>2</sub>-reductie eventueel nauwkeuriger worden vastgesteld. De emissiefactoren zijn fysische gegevens (zie paragraaf 3.2) en de verdere gegevens zijn gebaseerd op interne expertise en openbare bronnen. Om het berekeningsmodel nog verfijnder te maken kan ook het elektriciteitsverbruik van de pomp (in het warmtenet, maar ook bij de ketels) meegenomen worden. Vanwege de overzichtelijkheid van het model is dit achterwege gelaten.

Tabel 1 Uitgangswaarden in de CO<sub>2</sub>-reductieberekening

	Diemen	AVI	Hemweg
Rendement KC	55%	23%	43%
Thermisch rendement WKC	40%	48%	35%
Elektrisch rendement WKC	48%	12%	35%
Aandeel warmtelevering WKC	90%	90%	90%
Emissiefactor brandstof (W)KC	56,8 kg/GJ	39,0 kg/GJ	94,6 kg/GJ
Rendement HWK	86%	86%	86%
Aandeel warmtelevering HWK	10%	10%	10%
Emissiefactor brandstof HWK	56,8 kg/GJ	56,8 kg/GJ	56,8 kg/GJ
Rendement CV-ketel	86%	86%	86%
Emissiefactor brandstof CV-ketel	56,8 kg/GJ	56,8 kg/GJ	56,8 kg/GJ

Bronnen: Blom, 2004; Bosselaar, 2006; Kelhofer, 1999; Vreuls, 2006; Vroonhof, 2001.

WKC = warmtekrachtcentrale

HWK = hulpwarmteketel

KC = krachtcentrale (centrale in solo elektrisch bedrijf)





## Resultaten

De resultaten van de berekeningen staan in Tabel 2. Daarin is te zien dat de besparing in primaire energie bij de Diemencentrale het grootst is. Deze centrale kan met een relatief lage elektriciteitsderving veel bruikbare warmte produceren. De besparing in CO<sub>2</sub>-emissie is bij deze centrale gelijk aan de energiebesparing. Dat komt dat de brandstof van de centrale (gas) en de hulpwarmteketel, dezelfde is als die van de referentie (CV-ketel), en dus in het model met een en dezelfde emissiefactoren gerekend kan worden. De AVI levert in WKC-bedrijf geen (of nauwelijks) energiebesparing op, bij de veronderstelde rendementen en andere waarden in het model. Omdat de emissiefactor van afval lager is dan van gas (de brandstof van de referentietechniek) is er wel sprake van een CO<sub>2</sub>-reductie. Bij de kolencentrale vindt het tegenovergestelde effect plaats: de relatieve energiebesparing is groot (40%), maar de CO<sub>2</sub>-reductie is laag, omdat de emissiefactor van kolen (als brandstof van de Hemweg) veel hoger is dan van gas (als brandstof van de referentietechniek).

Tabel 2 CO<sub>2</sub>-reductie van WKC ten opzichte van een HR-ketel

	Diemen	AVI	Hemweg
Besparing in primaire energie	60%	-2%	40%
CO <sub>2</sub> -reductie	60%	26%	8%
kg CO <sub>2</sub> /GJ warmte	27	49	61

Op basis van bovenstaande kan geconcludeerd worden dat de AVI en de Diemencentrale duidelijk CO<sub>2</sub>-reductie opleveren ten opzichte van de CV-ketel. In afzonderlijke netten is het dus verstandig om beide centrales zoveel mogelijk in WK-bedrijf te stellen. In een hoefijzernet – waar centrales ook warmte kunnen leveren aan elkaars afzetgebieden – rijst de vraag aan welke van beide centrales voorrang verleent moet worden in de warmtelevering, geredeneerd vanuit CO<sub>2</sub>-reductie. Om die vraag goed te beantwoorden moeten beide centrales vergeleken worden. In paragraaf 3.5 wordt daar verder op ingegaan.

Of bij de Hemweg ook CO<sub>2</sub>-reductie zal optreden, is nog maar zeer de vraag. Bij de huidige aannames in het model levert het een geringe CO<sub>2</sub>-reductie op, maar bij iets andere uitgangspunten daalt deze CO<sub>2</sub>-reductie verder naar beneden. Op voorhand is het dus niet aan te bevelen om de Hemweg in WK-bedrijf te stellen. Dit levert wel energiebesparing op, maar waarschijnlijk geen CO<sub>2</sub>-reductie. Om een definitief besluit hierover te nemen, is het zaak om met accurate gegevens de mogelijke CO<sub>2</sub>-reductie te bepalen.

### 3.4 Wat is beter: de AVI of de Diemencentrale in WK-bedrijf?

#### Uitgangspunten en inputvariabelen

Een hoefijzernet heeft als groot voordeel dat het de inzet van de milieubronnen flexibel maakt. Dit biedt voordelen voor de leveringszekerheid, maar belangrijker nog: daardoor kan de schoonste bron maximaal worden benut (zie ook hoofdstuk 4). Uit de voorgaande paragraaf bleek dat de Diemencentrale en de AVI beide in WK-bedrijf CO<sub>2</sub>-reductie opleveren ten opzichte van de huidige situatie waarin de CV-ketel de woning en het tapwater verwarmt. Maar daarmee is nog niets gezegd over de CO<sub>2</sub>-emissie van de bronnen ten opzichte van elkaar. Om daar onderbouwd iets over te kunnen zeggen, hebben we CO<sub>2</sub>-emissie in twee situaties vergeleken; situatie A waarin de AVI-centrale in WK-bedrijf wordt gesteld en de Diemencentrale solo elektrisch draait en situatie B waarin het omgekeerde geldt.

#### Wat is schoner: de AVI of de Diemen in WK-bedrijf?

##### Te vergelijken situaties:

- situatie A: AVI in WK bedrijf en Diemen in solo elektrisch bedrijf;
- situatie B: Diemen in WK bedrijf en AVI in solo elektrisch bedrijf.

##### Bij de volgende uitgangspunten:

- 1 De brandstofhoeveelheid van de AVI is de inputvariabele en in beide situaties gelijk.
- 2 Elektriciteitsvraag situatie A = elektriciteitsvraag situatie B.
- 3 Warmtevraag situatie A = warmtevraag situatie B.

Bij het bepalen van de CO<sub>2</sub>-emissie hebben we een drietal uitgangspunten gehanteerd. De eerste heeft te maken met het feit dat een AVI-centrale vrijwel continu draait; de hoeveelheid aangeboden afval moet immers verwerkt worden. Daarom hebben we de aanname gedaan in het model dat de brandstofhoeveelheid van de AVI in beide situaties gelijk is en vast staat. De tweede en de derde uitgangspunten zijn gesteld om de situaties A en B vergelijkbaar te maken. Verondersteld is dat daarom niet alleen de warmteproductie in beide situaties gelijk moet zijn (uitgangspunt 2) maar ook de elektriciteitsproductie (uitgangspunt 3). Bij de berekeningen zijn we verder van dezelfde rendementen, dezelfde distributieverliezen en dezelfde inzet van de hulpwarmtekotel uitgegaan als in paragraaf 3.4 (zie Tabel 1).



## Resultaten

Het verschil in CO<sub>2</sub>-emissie tussen beide situaties is marginaal; de situatie waarin de Diemencentrale in WK-bedrijf wordt gesteld heeft een 3% lagere emissie. De Diemencentrale Dit kan omslaan ten gunst van de AVI, als het elektrisch rendement van de AVI in WK bedrijf beter zou zijn. Gezien bovenstaand resultaat; in een hoefijzernet maakt het qua CO<sub>2</sub>-reductie niet veel uit of de Diemencentrale of de AVI wordt ingezet als warmtebron. In bijlage C is ter illustratie een afdruk van de spreadsheet opgenomen bij een warmtevraag van 100 GJ en een elektriciteitsvraag van 180 GJ.

**Daarbij willen we aangeven dat de relatieve besparing niet afhankelijk is van de vraag naar elektriciteit of warmte. Wel van invloed daarop zijn de energetische rendementen van de centrales.**

### 3.5 Alternatieve berekening van de CO<sub>2</sub>-reductie van een WKC

Als er geen elektrische en thermische rendementen beschikbaar zijn van een centrale, kan de CO<sub>2</sub>-emissie van warmte ook worden bepaald met de gederfde hoeveelheid KWh, per geproduceerde GJ warmte. De CO<sub>2</sub> die dan aan de warmte wordt toegekend, berekent men door na te gaan welke hoeveelheid CO<sub>2</sub> samenhangt met het opwekken van de gederfde elektriciteit in de betreffende centrale. Daarbij moet dan ook de CO<sub>2</sub>-emissie worden opgeteld van de hulp-warmtekotel.

Zonder verder diep in te gaan op deze berekening, willen we wel wijzen op een mogelijke verwarring. Sommige partijen berekenen de CO<sub>2</sub>-reductie van een WKC door te veronderstellen dat de gederfde elektriciteit in een efficiëntere centrale (en of met schonere brandstoffen) dan de WKC in kwestie wordt opgewekt, bijvoorbeeld in een STEG. Dit moet niet worden verward met de referentietechniek waar in paragraaf 3.2 over is geschreven onder ad.2 en ad 3. In de berekening van de vorige paragraaf gaat het namelijk om een *vergelijking* van de WKC met een efficiëntere techniek (of schonere brandstof), en deze vergelijking pakt ongunstig uit voor de CO<sub>2</sub>-reductie van een WKC. In de berekening van deze paragraaf gaat het om de opwekking van de gederfde elektriciteit in een efficiëntere centrale (of met schonere brandstoffen) en dit pakt juist gunstig uit voor de berekening van de CO<sub>2</sub>-reductie.

#### Let wel:

CE Delft is van mening dat de CO<sub>2</sub>-reductie niet zuiver wordt berekend, als men in een CO<sub>2</sub>-reductieberekening van een WKC ervan uitgaat dat de gederfde elektriciteit in een efficiëntere centrale (of met een schonere brandstof) wordt opgewekt. Naar onze mening kan dat alleen, als ook de hogere CO<sub>2</sub>-druk van elektriciteit dan administratief tot uiting komt, anders wordt een stukje CO<sub>2</sub> vergeten. Een meer gedetailleerde uitleg hierover is te lezen in bijlage B.

In de praktijk wordt in sommige gevallen wel gerekend met opwekking van de gederfde elektriciteit in een efficiëntere centrale, namelijk als een elektriciteitscentrale in de praktijk vaak op vol-last draait. In die situatie kan geen extra brandstof worden toegevoerd en wordt er dus minder elektriciteit geproduceerd. Hoe de CO<sub>2</sub>-reductie dan volgens onze visie berekend moet worden, is toegelicht in bijlage B.

### 3.6 Economische kenmerken van elektriciteitscentrales

In dit rapport ligt zoals gevraagd door de opdrachtgever het accent op het klimaatvoordeel van stadswarmte. Voor de volledigheid willen we daarnaast graag kwalitatief ingaan op enkele belangrijke economische aspecten van de centrales. Deze achtergrondkennis is handig om keuzes van energiebedrijven in het juiste perspectief te kunnen zetten.

Kolencentrales worden in Nederland vaak ingezet als een basislast. De brandstof van deze centrales is namelijk goedkoop, en dat leidt tot lage variabele lasten per kWh. Daarnaast is de investering in deze centrales hoog; hoe langer de bedrijfstijd hoe sneller de investering is terugverdiend. In de huidige tijd is voorzieningszekerheid een extra motivatie voor het bouwen van kolencentrales. Kolen zijn namelijk aan te kopen in relatief politiek stabiele landen. Gascentrales vragen om een lagere investering, en deze gaan in het algemeen zuiniger met hun brandstof om. Maar gas is als brandstof duurder dan kolen en daardoor zijn ook de variabele kosten van deze centrales hoger zijn dan van kolencentrales. De investering in deze centrale is echter weer een stuk lager. Gascentrales worden vaak geschakeld in vermogen; niet alleen omdat deze dat technisch gezien snel kunnen, maar ook omdat de variabele kosten hoger zijn.

Een AVI vraagt om een hoge investering. Het bijzondere van deze centrale is verder dat het de brandstof geen geld kost, maar geld oplevert. Het afval moet immers verbrand worden en in feite zijn elektriciteit en warmte slechts bijproducten. De AVI draagt meestal ook bij in de basislast; het vermogen is namelijk aangepast op de hoeveelheid afval dat beschikbaar komt, om de investering rendabel te maken. Dit betekent in de praktijk dat de AVI praktisch continu in bedrijf is.

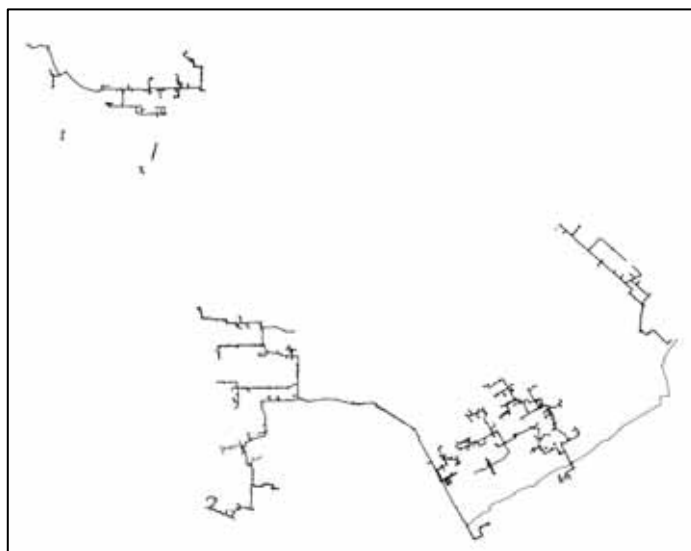


## 4 Mogelijke configuraties van het warmtenet

### 4.1 Inleiding

De warmte-infrastructuur in Amsterdam omvat op dit moment enkele 'concentraties' aan leidingtracé die onderling niet zijn gekoppeld. Figuur 5 geeft een indruk van deze concentraties, (Figuur 3 geeft dit schematische ook, maar dit figuur geeft de verhoudingen zoals ze werkelijk zijn). Er is een duidelijk zwaartepunt in het zuiden van de stad en een kleinere concentratie in het noordwesten. De vraag is nu of het zin heeft om de verschillende clusters te koppelen en, zo ja, op welke wijze dat het best kan gebeuren.

Figuur 5 Warmtenet in Amsterdam



Voor de mogelijke koppeling wordt vooral gedacht aan twee varianten; de hoefijzeropzet en de ringbenadering. In de hoefijzeropzet zijn de bestaande concentraties via één verbinding gekoppeld waardoor in totaal een hoefijzerachtig beeld ontstaat. In de ringbenadering worden de netconcentraties op meer punten gekoppeld, waardoor het beeld van een ring ontstaat. Aan de koppelingen zijn investeringskosten verbonden waar voordelen in de bedrijfsvoering tegenover staan. Hieronder gaan we in op de toegevoegde waarde van de hoefijzeropzet t.o.v. de ongekoppelde situatie en die van de ringbenadering t.o.v. de hoefijzer opzet.

## 4.2 De hoefijzeropzet

Het koppelen van de netten in de vorm van een hoefijzer heeft een aantal duidelijke voordelen t.o.v. de gescheiden situatie. Die benoemen we hieronder. Er zijn echter ook enkele voorwaarden om tot een koppeling met toegevoegde waarde te kunnen komen. De belangrijkste daarvan zijn dat de tracés, die worden gekoppeld, vrijwel hetzelfde temperatuurniveau bezitten en dat deze een vergelijkbare capaciteit (in waterdebiet) hebben. Het netdeel, uit het hoofdnet, met de kleinste diameter, en daarmee de kleinste capaciteit, is bepalend voor de totale capaciteit. Verder veronderstellen we dat op elk moment meerdere bronnen worden ingezet om te voorzien in de warmtevraag. Wanneer dat niet het geval is moet de transportcapaciteit in het hele hoefijzer toereikend zijn voor het warmtetransport van de bron naar de grootste afnemer of cluster van afnemers. Ook de pompcapaciteit in het hoefijzer moet daarvoor voldoen. Onder deze voorwaarden kunnen in deze opzet de volgende voordelen worden behaald:

- meest economisch en/of milieutechnisch verantwoorde inzet van de warmtebronnen, waarbij een beperkt aantal eenheden op (nagenoeg) vollast worden bedreven;
- verkleining van het effect voor afnemers bij uitval van een productie-eenheid (bron), op de korte en langere termijn;
- extra flexibiliteit voor het aankoppelen van nieuwe warmtebronnen of -buffers.

In beginsel staat tegenover deze voordelen - naast de benodigde investering - ook het nadeel van warmtetransport over (gemiddeld) grotere afstanden, met de daaraan gekoppelde warmteverliezen. We gaan er echter vanuit dat de kernleiding van het hoefijzer goed wordt geïsoleerd en een relatief grote doorstroming kent, waardoor de verliezen beperkt blijven.

Voor het realiseren van de voordelen is verder een goed systeemmanagement vereist.

Samenvattend:

<b>Voordelen hoefijzeropzet</b>	<b>Voorwaarden hoefijzeropzet</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Meest optimale inzet van de bronnen.</li><li>• Verkleinen gevolgen bij uitval/storingen.</li><li>• Flexibiliteit aankoppelen nieuwe bronnen.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Zelfde temperatuurniveau en capaciteit.</li><li>• Altijd meer dan één bron inzetten.</li><li>• Zeer goede isolatie kernleiding.</li><li>• Goed systeemmanagement.</li></ul>

## 4.3 De ringbenadering

De ringbenadering heeft globaal de zelfde voordelen en voorwaarden als de hoefijzeropzet. We gaan hier vooral in op de verschillen. Deze zijn vooral theoretisch. Zo worden de gevolgen van storingen (en dan specifiek die in het net zelf) nog verder verkleind, maar de kans op een storing in het hoofdnet is in de praktijk vrijwel nihil. Ook dalen de pomp- en warmteverliezen in het net dalen iets, omdat altijd een relatief korte weg van bron naar afnemer ter beschikking staat. Daar komt bij de eisen die worden gesteld aan de transportcapaciteit van de kernleiding van het ringnet iets minder stringent zijn dan in de hoefijzeropzet, omdat ook hier vrijwel altijd twee wegen beschikbaar zijn (linksom of rechtsom).



Tegenover deze extra voordelen staat een extra investering in de koppeling tussen de netdelen.

Samenvattend:

Voordelen ringbenadering	Voorwaarden ringbenadering
<ul style="list-style-type: none"><li>• Meest optimale inzet van de bronnen.</li><li>• Verdere verkleining gevolgen storingen.</li><li>• Extra flexibiliteit aankopp. nieuwe bronnen.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Zelfde temperatuurniveau netdelen.</li><li>• Ongeveer dezelfde capaciteit.</li><li>• Altijd meer dan één bron inzetten.</li><li>• Zeer goede isolatie kernleiding.</li><li>• Goed systeemmanagement.</li></ul>

#### 4.4 Coördinatietaak

Zowel de hoefijzeropzet als de ringbenadering vereisen, om de potentiële voordelen goed te benutten, een goed systeembeheer, ofwel een coördinatietaak. Deze taak behelst onder meer:

- de zorg voor het dagelijks in bedrijf hebben van voldoende vermogen bij de warmtebronnen (de productie-eenheden);
- het onder de aandacht van de lokale beheerders brengen van mogelijkheden voor economische uitwisseling van warmte tussen de netdelen;
- het tot stand brengen van de uitwisseling naar die netdelen/beheerders, waar op dat moment het grootste financiële en/of milieuvoordeel te behalen valt;
- een dirigerende bevoegdheid bij storingen, die zich uitstrekken tot over de grenzen van de afzonderlijke netdelen;
- het ter beschikking stellen van reserveproductievermogen uit de overige productie-eenheden aan een netdeel/beheerder met een grote storing;
- het berekenen van het noodzakelijk op te stellen productievermogen, rekening houdend met storingspercentages van de productie-eenheden en de kans op onderbreking van de voorziening;
- het coördineren van de uitbreidingsplannen om het gezamenlijk opgestelde productievermogen op peil te houden c.q. tijdig uit te breiden;
- het coördineren van (van tevoren geplande) revisiewerkzaamheden aan productie-eenheden en delen van het gekoppelde net;
- het waarborgen van een selectieve beveiliging van de netdelen om te voorkomen, dat een storing aan één onderdeel zich uitbreidt naar grotere delen.

#### 4.5 De concrete situatie in Amsterdam

De grootste huidige concentratie van warmtedistributie in Amsterdam ('Zuidoost') wordt gevoed vanuit de Diemencentrale, met een steunpunt bij de VU. De kleinere concentratie ('Noord-Oost') wordt gevoed van uit het Afval Energie Bedrijf (AEB). Op dit netdeel zou de Hemwegcentrale aangesloten kunnen worden. Bij beide concentraties bestaan plannen en afspraken voor uitbreiding van het net.

De temperatuur in een groot deel van het net bedraagt 120°C om bij de bebouwing warmte op 90°C af te kunnen leveren. In de noordelijke tak vanuit de Diemencentrale is de temperatuur 100°C en wordt de warmte op een temperatuur van op 70°C afgeleverd. Met dit verschil in temperatuur moet rekening worden gehouden bij een eventuele koppeling van de netten. In het zuidelijke

deel van het hoofdnet (nabij de VU) zit een relatief zwak punt. Het netdeel dat hier achter zit (bezien vanuit de Diemencentrale) kan in noodgevallen echter altijd worden gevoed vanuit de VU, waar permanent reservecapaciteit beschikbaar is.

De voor- en nadelen van een koppeling tussen de verschillende netconcentraties zijn recent voor Nuon Warmte in kaart gebracht. Zo'n koppeling kan via de nieuw aan te sluiten wijken worden gerealiseerd, mits daar bij de dimensionering van het hoofdnet in deze wijken rekening mee wordt gehouden. Voor de duidelijkheid merken we op dat in de studie van Nuon alleen wordt gesproken over 'ringnetten', terwijl feitelijk alleen varianten worden beschouwd die wij hier aanduiden als de hoefijzeropzet. Uit de studie van Nuon is gebleken dat het koppelen van de netconcentraties met name interessant is wanneer er nieuw productievermogen wordt geplaatst in de Diemencentrale (en niet in de Hemweg). De groei van de afzet van warmte is immers geconcentreerd in Amsterdam Noord. Wanneer de Hemweg wordt uitgebreid kan Noord vanaf die zijde worden gevoed, zonder het sluiten van het hoefijzer. Bij de uitbreiding van Diemen is het economisch aantrekkelijk dat Noord ook van die kant kan worden bediend en wordt er wel een hoefijzer gerealiseerd.

De keuze waar nieuw elektrisch productievermogen wordt geplaatst is nog niet gemaakt. De keuze rond het nieuwe productievermogen wordt in 2008 verwacht. Volgend jaar moet ook de diameter van het aan te leggen hoofdnet in Amsterdam-Noord worden bepaald. Als aangekoerst wordt op een koppeling van de netten dan wordt gekozen voor DN 500. In de tracé-voorbereiding is daar al de mogelijkheid voor geschapen. De sluiting van het hoofdnet tot een hoefijzer zal overigens pas op z'n vroegst in 2011 z'n beslag kunnen krijgen.

Bij de koppeling is met name het handhaven van de juiste druk in het gehele systeem het belangrijkste aandachtspunt. Er zullen naar verwachting enkele extra 'boosterstations' moeten worden geplaatst. De verdere coördinatie van het complete systeem zou verder geen problemen op mogen leveren (de omvang van het net/productiepark is beperkt en de bedrijfsvoering is eenvoudig te automatiseren). De individuele pompstations zijn uitgerust met een 'stand-alone'-regeling voor het geval dat de verbinding met het coördinatiecentrum onverhoopt weg mocht vallen.





## 5 Mogelijkheden voor optimalisatie van milieuwinst

### 5.1 Inleiding

Restwarmtelevering in Amsterdam bestaat pas sinds 1993, toen de warmtelevering vanuit de Diemencentrale aan de Bijlmer tot stand kwam. De filosofie, uit het Milieu-ActiePlan van het energiebedrijf, was om CO<sub>2</sub>-reductie tot stand te brengen op marktconforme wijze, en om daarnaast niet weer te verzanden in megalomane warmte-investeringsplannen zoals die eerder in Noord-Holland gestrand waren, maar aan te sluiten bij ontwikkelingen in de stedenbouwkundige uitbreiding van de stad. De warmtenetten, eerst vanuit Diemen, later ook vanuit AVI West, zijn geleidelijk uitgebouwd. Daar waar stedenbouwkundige kansen lagen om de energievoorziening te verduurzamen met behulp van warmtelevering, maar waar de hoofdtransportpijpen nog niet konden worden doorgetrokken, zijn distributienetten aangelegd die gevoed werden door lokale WKK-installaties. Daarbij is steeds gezocht naar rendabele mogelijkheden en kansen om de hoofdtransportpijpen later verder door te trekken en daarbij de lokale WKK-netten uiteindelijk op de centrale levering aan te sluiten, als 'kralen aan een ketting', omdat dat de meeste milieuwinst geeft. Een kwestie van visie en van lange adem.

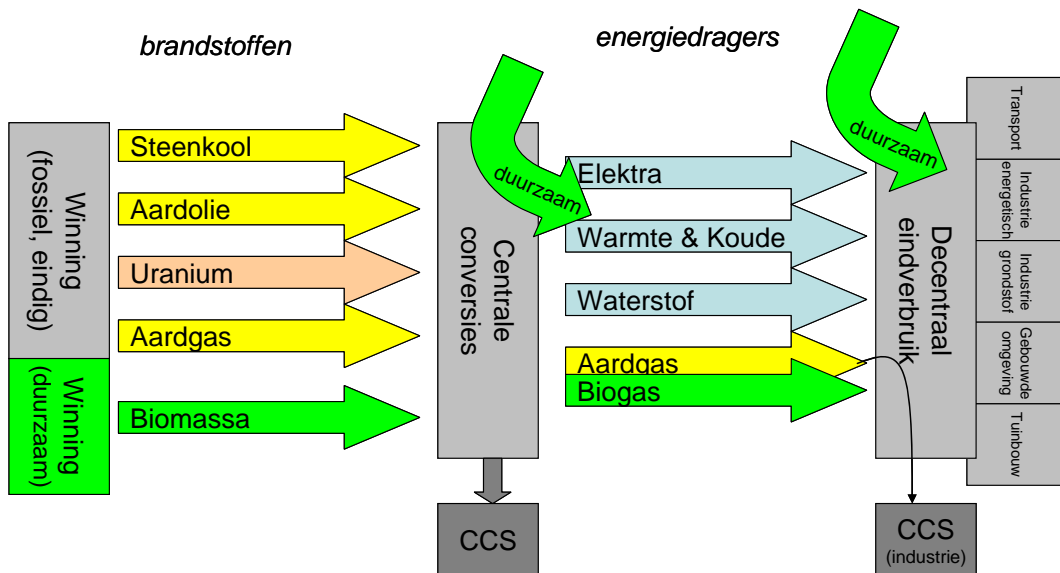
Hoewel warmtelevering dus al een innovatie op zichzelf is, bedoeld om de energievoorziening energiezuiniger te maken, zijn er binnen de techniek van warmtelevering ook nog allerlei grote en kleine innovaties gaande. Omdat het een vitale infrastructuur is, waarvan vele duizenden huishoudens en bedrijven afhankelijk zijn, gaan die innovaties wel met beheerste stapjes. Innovaties worden gestuurd vanuit verhoging van het milieurendement, en verlaging van kosten. Trends zijn bijvoorbeeld: het leveren van Lage Temperatuur Verwarming (LTV), het opslaan van warmte in buffers, en op het gebied van leidingisolatie. Een andere trend is het toepassen van centrale warmte-/koudeopslag (WKO), maar hierbij is niet meer sprake van restwarmtelevering vanuit een centrale of industrieel proces. Recent is door het ministerie van Economische Zaken het grote potentieel aan duurzame warmte en koude in Nederland nadrukkelijk geagendeerd.

Voor de lange-termijn innovatie van de energiehuishouding als geheel is het volgende gezichtspunt nog van belang. Een belangrijk kenmerk van warmtelevering is dat het een energiedrager betreft waarbij bij verbruik geen CO<sub>2</sub> vrijkomt; dit in tegenstelling tot een energiedrager als aardgas. Koolstofloze energiedragers passen in het lange-termijn beeld van de energievoorziening, waarbij brandstoffen centraal worden omgezet in koolstofloze energiedragers als elektriciteit, warmte/koude en waterstof, die vervolgens worden gedistribueerd naar de eindverbruikers. Met dit eindbeeld, en de transitie daar naar toe, kan zowel het klimaatrisico als het leveringszekerheidsrisico worden geminimaliseerd. Het leveringszekerheidsrisico, omdat bij centrale conversieprocessen van brandstoffen gemakkelijker switches te maken zijn van de ene brandstof door de andere, zodat er minder afhankelijkheid ontstaat. Het klimaatrisico, omdat bij centrale

verbranding van fossiele brandstoffen de mogelijkheid van afvang en opslag van CO<sub>2</sub> bestaat (CCS), zodat in de transitieperiode naar een duurzame energiehuishouding de CO<sub>2</sub>-emissie al geminimaliseerd kan worden. Warmtelevering past goed in dat beeld en in de transitie daar naar toe.

Het is belangrijk dat 'de warmtesector' in Nederland een **duurzaamheidsvisie** ontwikkeld. Immers, restwarmte van elektriciteitscentrales die gestookt worden met fossiele brandstoffen is uiteindelijk een eindig fenomeen. De restwarmtelevering levert wel milieuwinst ten opzichte van gescheiden opwekking, maar voor het lange termijn perspectief - belangrijk ook voor de klanten die van de warmtelevering afhankelijke zijn - dient er ook uitzicht te zijn op een duurzame invulling van de warmteproductie. De mogelijkheden daartoe staat in dit hoofdstuk onder 'alternatieve warmtebronnen'.

Figuur 6 Duurzame energiehuishouding (groen = duurzaam, blauw = koolstofloos)



## 5.2 Innovatiemogelijkheden

### 5.2.1 Laag temperatuurverwarming (LTV)<sup>2</sup>

Standaard in Nederland is nog altijd een CV-systeem met ontwerp-aanvoertemperatuur van 90°C en een retourtemperatuur van 70°C. Terwijl de temperatuur in het te verwarmen vertrek slechts circa 20°C bedraagt. Er zijn energiezuiniger alternatieven, waarbij de temperaturen in het CV-systeem lager liggen. Gangbaar is om over LTV te praten als de maximale aanvoertemperatuur 55°C is, en de retourtemperatuur maximaal 45°C. Voor IJburg is bijvoorbeeld

<sup>2</sup> [www.senternovem.nl/lv/en](http://www.senternovem.nl/lv/en)  
[www.senternovem.nl/eprn/maatregelen/verwarming/lage\\_temperatuursystemen.asp](http://www.senternovem.nl/eprn/maatregelen/verwarming/lage_temperatuursystemen.asp).



afgesproken om van een lager oftewel middentemperatuurniveau uit te gaan (70/50 in plaats van 90/70).

De voordelen van LT-afgiftesystemen zijn legio: HR-ketels leveren in combinatie met LT-afgiftesystemen een hoger rendement, er treedt minder warmteverlies op in warmtedistributienetten en de efficiëntere inzet van duurzame energiebronnen als zonne-energie en aardwarmte komt binnen bereik. Om de energiebesparende toepassing van warmtepompen mogelijk te maken is een LT-afgiftesystemen zelfs een voorwaarde. LT-systemen brengen meerkosten met zich mee. Wanneer deze echter zorgvuldig en evenwichtig worden afgewogen, kunnen LT-systemen ook uit economisch oogpunt concurrerend zijn. Voor de warmteafgifte moeten grotere radiatoren of convectoren worden gebruikt dan bij een 90/70-systeem, of kan gebruikt worden gemaakt van (comfortabeler) vloer- of wandverwarming.

LT-afgifte leidt aan de zijde van de warmteopwekking en warmtedistributie (bij collectieve systemen) tot de volgende energiebesparing te opzichte van 90/70-verwarming<sup>3</sup>. Deze besparing is nog exclusief de besparingseffecten aan de afgiftezijde.

Type warmteopwekking	Extra primaire energiebesparing bij opwekking en transport door toepassing LT-afgifte i.p.v. 90/70 °C-systeem
HR-ketel	3 - 9%
Zon-thermisch (individueel)	3 - 15%
Warmtepomp (individueel)	Niet te combineren met 90/70°C systeem
Warmtekracht-gasmotor (collectief)	6 - 12%
Warmtekracht-STEG (collectief)	25 - 40%
Zon-thermisch (collectief)	50 - 60%
Warmtepomp (collectief)	Niet te combineren met 90/70°C systeem

LTV is een innovatie die zich al bewezen heeft. In sommige landen, zoals Zweden, Denemarken en Zwitserland, is het zelfs al verplicht in de nieuwbouw.

Normaliter wordt over LTV gesproken als de aanvoerwatertemperatuur niet hoger is dan 55°C en de retourtemperatuur maximaal 45°C. In de installatiepraktijk wordt soms een onderscheid gemaakt in vier segmenten: HT, MT, LT en **ZLT**, met aanvoertemperaturen van respectievelijk maximaal 90, 70, 55 en 35°C. De ZeerLageTemperatuur verwarming is als systeemconcept belangrijk voor de mogelijkheden tot vergroening van de warmtelevering. Bij heel lage aftaptemperaturen is er geen sprake meer van een bijstookfactor, het gaat dan echt om restwarmte en niet meer om via bijstook opgewaardeerde restwarmte. De leidingverliezen nemen navenant af met de lagere temperatuur. Wellicht is het zelfs in bepaalde gevallen mogelijk om de transportleidingen niet als aanvoer en retour uit te leggen, maar om het uitgekoelde aanvoerwater op het oppervlakte-water te lozen. Het is een concept om verder uit te werken. In de installatie-

<sup>3</sup> [www.senternovem.nl/ltv/30\\_energiebesparing\\_en\\_kosten/index.asp](http://www.senternovem.nl/ltv/30_energiebesparing_en_kosten/index.asp).

praktijk is er nog niet zoveel ervaring met ZLTV, maar er zijn wel praktijkvoorbeelden gerealiseerd. Denk aan comfortabele woningen met bijvoorbeeld wandverwarming.

## 5.2.2 Gebruik alternatieve warmtebronnen

Innovaties zijn ook mogelijk door alternatieve warmtebronnen te gebruiken. Naast uiteraard warmte uit gasmotoren (wkk) en industriële restwarmte zijn dat de duurzame(r) varianten:

### AVI en bio-wkk

In Amsterdam wordt de warmte van de AVI al benut, hetgeen een verduurzaming is ten opzichte van het gebruik van restwarmte van de op aardgas gestookte Diemen33-STEG. De brandstof van de AVI bestaat voor 47% uit organisch materiaal, waardoor dus geen netto extra fossiele koolstof in de atmosfeer komt. Ervan uitgaand dat de afvalstroom er toch is en het nodige aan scheiden en recyclen is gedaan ('ladder van Lansink'), is verbranden en energetisch benutten van de restfractie een zinvoller alternatief dan storten.

Een stap verder dan de AVI is een pure bio-wkk-installatie, waarin biomassa wordt verstoofd om zowel elektriciteit als warmte op te wekken. Als ook de brandstoffen voor productie en transport e.d. van de biomassa volledig duurzaam zijn, kan zo'n systeem in principe 100% CO<sub>2</sub>-neutraal werken. De haven van Amsterdam biedt goede mogelijkheden voor grootschalige aanvoer van biomassa. Uiteraard moet wel worden voldaan aan de duurzaamheidscriteria voor de productie van de biomassa.

### Zonneboilers

Grootschalige zonneboilers of zonneverwarmingsinstallaties, al dan niet gebruik makend van geconcentreerd zonlicht, kunnen ingezet worden als bron voor een stadswarmtenet, bij voorkeur in combinatie met LTV. Als dit de enige bron voor het warmtenet is, is grootschalige seizoensopslag nodig, omdat zonne-instraling en warmtevraag grotendeels uit de pas lopen (m.n. zomer/winter). Bij een zonneboilerinstallatie op een woning wordt dat deels met een buffervat opgelost, en springt de CV-ketel bij als de zonneboiler niet genoeg warmte kan leveren.

### Geothermie

Een ander alternatief is het gebruik van geothermie. Daarvan bestaat in Nederland één warmteproject-in-aanbouw, in Den Haag Zuid-West, en is bij een tomatenkwekerij een project in (test)bedrijf. Geothermie is onmiskenbaar een nieuwe ster aan het duurzaam firmament in Nederland. In de diepe ondergrond in Nederland ligt een groot potentieel voor duurzame warmte. Anders dan bij warmte-/koudeopslag hoeft de bron niet geregenereerd te worden; er is een 'onuitputtelijke' voorraad warmte beschikbaar. De kosten en de risico's zijn op dit moment nog hoog, mede ook vanwege het risico op misboringen waarbij de bron te weinig waterdebiet levert of de infiltratieput onvoldoende capaciteit heeft. Het ministerie van EZ is echter van plan om voor dergelijke boringsrisico's een garantiefonds in het leven te roepen. Specifiek voor de omgeving van Amsterdam is nog wel belangrijk dat niet bekend is of de benodigde diepe



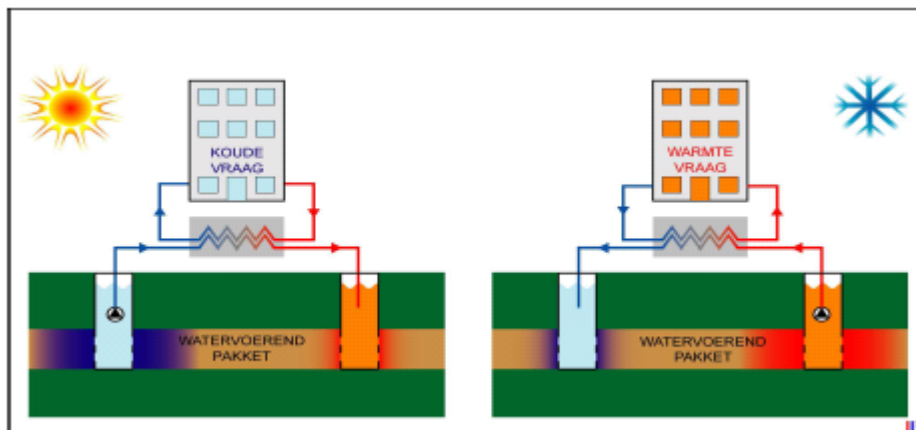
(1.500 tot 3.000 meter diepte) watervoerende zandlagen wel aanwezig of geschikt zijn in de ondergrond. Proefboringen zouden dat uit kunnen wijzen, maar die zijn kostbaar. Zie voor meer informatie [www.geothermie.nl](http://www.geothermie.nl), en het artikel op die website met daarin een landkaart ([http://www.geothermie.nl/img/images\\_inline.php?id=103](http://www.geothermie.nl/img/images_inline.php?id=103)). Diepe geothermie lijkt, naast bio-wkk, vanwege beschikbaarheid, de vermogens en het temperatuurniveau de meest geschikte techniek om grootschalige restwarmtelevering in de toekomst te verduurzamen.

### Warmte-/koudeopslag (WKO)

Een heel andere wijze van innovatie is het inzetten van centrale warmte-/koudeopslag, zoals bijvoorbeeld op de Oostelijke Handelskade in Amsterdam is gerealiseerd. Hierbij wordt in zomer en winterbedrijf gewerkt, waarbij de in de zomer weggekoelde warmte wordt opgeslagen in een ondergrondse watervoerende laag (een aquifer), en waarbij in de winter dit water weer wordt opgepompt en gebruikt als voeding voor een warmtepomp die uiteindelijk het gebouw verwarmd.

De energiebalans in de ondergrond dient op jaarbasis in evenwicht gehouden worden. Op grote kantoorlokaties, zoals de Zuidas, kunnen de verschillende WKO-projecten elkaar letterlijk in de weg zitten.

Figuur 7 Warmte-/koudeopslag (WKO)



### 5.2.3 Integratie met een koudevoorziening

Bij kantoorlocaties, en ook steeds vaker bij woningbouw, is er bij warmteleveringsprojecten ook de vraag aan de orde naar het oplossen van de koudevraag. Bij de grote kantoren wordt die vraag steeds vaker ingevuld met een bodemopslag, al dan niet in combinatie met een warmtepomp. Dat leidt er vervolgens toe dat een centrale restwarmtelevering dan niet meer aan de orde is. In deze paragraaf wordt de vraag beantwoord naar de mogelijkheden tot integratie van restwarmtelevering en koudelevering. Hiervoor bestaan verschillende opties, die hieronder worden besproken.

### **Optie 1: Separate netten en bronnen voor warmte en koude**

Warmtelevering en koudelevering kunnen prima samengaan, als gescheiden netten. De simpelste vorm van integratie is dan ook: géén integratie, ook niet op productieniveau, oftewel gescheiden netten, én gescheiden productie voor warmte en koude. Hierbij is er dus sprake van zowel een warmtenet en een koudenet, en heeft een gebouw een aansluiting op beide netten. Voor het koudenet kunnen alle bekende bronnen worden ingezet. Zoals: traditionele compressiekoelmachines (waarbij overigens een centraal net geen milieuvoordeel biedt boven koelunits op gebouwniveau), er kan ook duurzame koude uit diepe meren worden ingezet (vgl. project Zuidas, met koude uit de Nieuwe Meer ), of koude die vrijkomt bij gasexpansie in zgn. GasOntvangstStations (GOS). Mogelijk is ook koude uit het Noordzeekanaal een optie hoewel dit kanaal vermoedelijk niet diep genoeg is. In het buitenland, bijvoorbeeld in Stockholm, wordt op verschillende plaatsen ook koude uit zee gewonnen net zoals in Amsterdam uit de Nieuwe Meer (Seawater Air Conditioning, SWAC, zie [http://www.makai.com/renewable\\_energy/swac.htm](http://www.makai.com/renewable_energy/swac.htm)). Dit zou in Nederland ook kunnen, en zou zelfs uitstekend passen in het concept van de Noordzee als energiecentrale. Uiteraard zijn combinaties mogelijk, waarin bijvoorbeeld de basislast met duurzame koude wordt geleverd en de pieklast met aanvullende compressiekoelers.

Ingeval een WKO wordt toegepast voor invulling van de koudevraag ligt het voor de investeerder economisch voor de hand om, via de inzet van een warmtepomp, de WKO ook te gebruiken voor de warmtevoorziening in het gebouw. Of dit ook qua totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van het systeem de beste optie is hangt sterk af van de uitstoot van CO<sub>2</sub> die met de productie van restwarmte gepaard gaat, en van de uitstoot die met de elektriciteitsproductie voor de warmtepomp gepaard gaat. Het is een vraagstuk van het goede en het betere, en ook van het trekken van systeemgrenzen. Immers, CO<sub>2</sub>-uitstoot bij zowel restwarmteproductie als van elektriciteitsverbruik kan worden gecompenseerd door inkoop van groene stroom, en op termijn zou de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de centrale ook nog kunnen worden afgevangen en opgeslagen.

Op de Zuidas is er vanuit de WKO-systemen vraag naar levering van pieklastwarmte vanuit het warmtenet. Dit is voor de exploitatie van het warmtenet echter financieel niet interessant. Door de dure warmte-infrastructuur wil men vanuit het warmtenet juist in ieder geval basislast leveren, zodat de bedrijfstijd van het net zo hoog mogelijk is.

### **Optie 2: Separate netten, integratie op productieniveau**

Koude kan ook worden gemaakt met een absorptiewarmtepomp, die wordt 'aangedreven' door warmte. De ontwikkelmarkt daarvoor ligt vooral in Azië, waar in de grote steden inpassingsproblemen zijn voor grote elektrische koelmachines in het elektriciteitsnet. Denk bijvoorbeeld aan de 'telecomswitches' en 'datahotels' van de ICT-sector, waarvan de tientallen MWe aan gevraagd elektrisch vermogen ook in Amsterdam voor problemen zorgden. Absorptiekoelmachines zijn in Azië het antwoord op dit vraagstuk, waarbij de warmte bijvoorbeeld via het

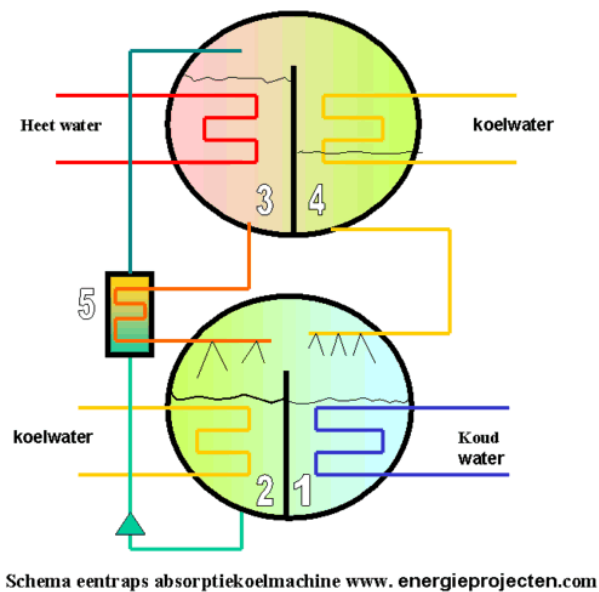


verstoken van gas wordt opgewekt. Vervolgens zijn de absorptiekoelmachines ook verder ontwikkeld zodat ze op wkk-warmte of restwarmte kunnen 'draaien'. Een gerealiseerd voorbeeld in Amsterdam is bijvoorbeeld de WENK-centrale bij de Rembrandt-toren, waarbij WENK staat voor een geïntegreerde installatie van gasmotoren (wkk's) en een absorptiekoeler die Warmte, Elektriciteit, Noodstroom (i.e. in eilandbedrijf) en Koude levert. De absorptiewarmtepomp wordt aangedreven door de warmte van de wkk-units. In Nederland wordt deze techniek nog vrij weinig toegepast. Indien een alternatief wordt gezocht voor traditionele compressiekoelmachines wordt tegenwoordig in Nederland meestal warmte-/koudeopslag (WKO) toegepast. Goed bruikbare informatie over absorptiekoeling is te vinden op: [http://www.energiotech.info/restwarmte/th\\_absorptiekoeling.html](http://www.energiotech.info/restwarmte/th_absorptiekoeling.html).

Figuur 8 WENK-centrale bij Amsterdam Amstel.



Figuur 9 Schematische werking van een absorptiekoelmachine





Absorptiekoelmachines kunnen ook worden aangedreven door warmte uit een warmtenet. Zo kan de warmte ook in de zomer en in lente en herfst worden benut, als er koudevraag is. Het milieurendement hangt af van de hoeveelheid energie die het kost om de warmte op te wekken (plus netverliezen). Bij echte afvalwarmte (i.e. afkomstig van industriële processen, waarbij de warmte anders zou worden geloosd) is er sprake van milieuwinst. Bij warmte die met gasmotoren wordt opgewekt en getransporteerd door een warmtenet slaat de energiebalans en opzichte van gescheiden opwekking in het algemeen negatief uit. Dat komt dan met name door:

- 1 De lage rendementsfactor ('C.O.P.') van de absorptiewarmtepomp bij aandrijving door lagere temperaturen.
- 2 Door de warmteverliezen in het warmtenet.
- 3 Door de benodigde bijstook in de energiecentrale (restwarmtelevering vanuit een elektriciteitscentrale zorgt ervoor dat het centralerendement afneemt, waardoor bijstook van extra brandstof nodig is om de elektriciteitsproductie weer op peil te brengen).

In (K. de Jong, maandblad Verwarming & Ventilatie, april 2002) wordt gewezen op de voortgaande innovaties met absorptiewarmtepompen in met name de Aziatische markt, waardoor ook bij lagere aandrijftemperaturen al een hoge efficiëntie wordt behaald, met behoud van regelbaarheid (zie tekstvak). Hierdoor wordt de mogelijkheden voor inzet van absorptiekoelmachines voor koudelevering vanuit restwarmtenetten vergroot. In Nederland is de trend overigens wel om restwarmtelevering op lagere temperaturen uit te voeren, zowel in het distributiedeel (in verband met lagere leidingverliezen en inpasbaarheid duurzame bronnen) als in het transportdeel (in verband met lagere bijstookfactor, indien afgetapt van elektriciteitscentrale). Daardoor vermindert die mogelijke inzet van absorptiekoelmachines juist weer.

#### **Absorptiekoelmachines**

De tot nu toe veelal gebruikte absorptiekoelmachines zijn vooral geschikt voor het gebruik van stoom of heet water van 140°C. Bij lagere temperaturen neemt het vermogen sterk af en het regelgedrag wordt instabiel. De toepassing van een absorptiekoelmachine met een warmtekrachtunit met gasmotor (water temperatuur circa 90°C was dan ook lange tijd geen alternatief. Nieuwe technologische ontwikkelingen, alsmede de veranderende energiemarkt, zorgen echter dat absorptiekoelmachines ook met lagere temperaturen kunnen worden gevoed. Absorptiekoelmachines worden geleverd voor diverse vormen van warmtetoevoer: CV-water, heet water van 120 tot 140 °C, stoom, hete uitlaatgassen van een gasturbine of oven of direct gestookt met een gas- of oliebrander. De verhouding tussen warmteverbruik en koudeproductie is veel lager dan bij een compressorkoelmachine. Een direct gestookte absorptiekoelmachine of een tweetraps unit op stoom haalt een C.O.P. van ca. 1,2; bij toevoer van CV-water op 90 °C is dit gewoonlijk slechts 0,7. Interessant is de recente ontwikkeling van een Duits bedrijf van kleinere units in tweetrapsuitvoering, die gekoppeld aan een wkk een C.O.P. van ca. 0,9 halen.

Bron: De Jong, V&V, april 2002





### Coëfficiënt of Performance (COP)

De C.O.P. of 'rendement' van een warmtepomp is de verhouding tussen de toegevoerde energie en de verplaatste hoeveelheid warmte-energie (tussen bron en afgiftesysteem), oftewel de afgeleverde hoeveelheid nuttige warmte. De C.O.P. moet niet verward worden met het thermodynamisch rendement, en kan veel groter dan 100% zijn. De C.O.P. van de huidige generatie warmtepompen ligt tussen de 1 en 5. Het varieert per type, en temperatuurniveau van de warmtevraag. Richtlijnen voor de COP van warmtepompen in woningen en gebouwen zijn:

- elektrische warmtepomp: 2.5 à 5.0;
- gasmotor warmtepomp: 1.2 à 2.0;
- absorptiewarmtepomp: 1.0 à 1.5.

Een C.O.P. van 3 betekent: met 1 gigajoule aandrijfenergie levert de warmtepomp 3 gigajoules warmte op het gevraagde temperatuurniveau. Hoe kleiner het temperatuurverschil tussen warmtebron en afgiftesysteem, hoe hoger de C.O.P. en daarmee het rendement. LTV is daarom een belangrijke voorwaarde voor inzet van warmtepompen in de gebouwde omgeving. De Seasonal Performance Factor (SPF) geeft dezelfde verhouding over een heel jaar, en is daarmee een praktijkmaat, die lager ligt dan de C.O.P. De Primary Energy Ratio (PER) geeft de verhouding tussen de geleverde warmte en alle primaire energie die nodig is om de betreffende warmte op te wekken. Daarin is dus ook de energie voor pompen en ventilatoren verwerkt. Om de kosten te beperken wordt de capaciteit van een warmtepomp meestal aan de kleine kant gekozen. Er is dan of een buffer nodig om pieken op te vangen (ca. 100 liter water per kW vermogen) of een traditionele bijverwarming (bijstook).

Het is in principe mogelijk om een absorptiewarmtepomp aan te drijven met hoge temperatuur restwarmte vanuit bijvoorbeeld de Diemen-STEG en daarmee koeling te leveren, en het afgekoelde 'retour'water vervolgens te gebruiken voor verwarming van de gebouwen. Aldus ontstaat een **cascade**, waarin een betere benutting van de energie ontstaat. Het is zeker de moeite waard om dit idee eens nader uit te werken.

### Optie 3: Laag-temperatuurleiding als bron voor verwarming en koeling

Tot slot is het mogelijk om te integreren op netniveau, door één net aan te leggen voor zowel de warmte als de koudelevering, op bijvoorbeeld 10 of 12°C . Dit is in principe wat er bij centrale WKO wordt gebruikt, maar dan met zomer- en winterbedrijf. Warmtepompen in de gebouwen brengen het water op het gewenste temperatuurniveau voor zowel koeling als verwarming. Dit is echter een geheel andere techniek die niet meer met restwarmtelevering te maken heeft.

## 5.3 Voorsorteren op andere warmtebronnen

In principe hoeven er geen nadere voorwaarden aan een warmtenet te worden gesteld om later te kunnen overstappen op andere warmtebronnen, ervan uitgaand dat:

- 1 De andere bron wordt aangesloten op de hoofdtransportleidingen.
- 2 Dat die hoofdtransportleidingen niet vanaf de huidige bron 'verjongen' (i.e.: dunner worden).
- 3 De nieuwe bron op dezelfde temperatuur levert als de huidige.

Aanname 2 is niet nodig als de andere bron op ongeveer dezelfde locatie komt als de huidige, en is alleen van belang als een net sterk verjongt wordt uitgelegd

en de nieuwe warmtebron aan de andere zijde van het net komt te liggen. In dat geval kan het net veel minder energie transporteren.

Aanname 3 is het meest stringent. Het verschil tussen aanvoer- en retourtemperatuur van het net, in combinatie met de diameters van de transportpijpen, bepalen de maximale capaciteit die het net kan transporteren. Het gaat in deze gevallen altijd om pieksituaties, en daarmee ook om de verhouding tussen energie uit het net en de decentraal opgestelde pieklastinstallaties. Als een nieuwe warmtebron al bekend is, kan daar bij de engineering rekening mee worden gehouden. Meestal zal dat niet het geval zijn. In dat geval kan altijd achteraf een nieuwe optimalisatie worden gezocht tussen de energie die vanuit het net wordt geleverd, en de piekenergie die decentraal wordt toegevoerd.

#### **5.4 Mogelijkheden voor groen gas**

Groen Gas is een techniek waar nog de nodige ontwikkeling in moet plaatsvinden, maar die op voorhand interessante voordelen kent. Naast de milieuwinst is een belangrijk voordeel dat het goed aansluit bij de conventionele energievoorziening en dus makkelijk en snel inpasbaar is. Groen Gas is namelijk een verzamelnaam voor gas geproduceerd uit biomassa, dat geschikt is om aardgas te vervangen. Thans wordt gas uit biomassa vaak ingezet voor de productie van elektriciteit, maar als dit gas kan worden opgewaardeerd naar aardgaskwaliteit kan dit extra CO<sub>2</sub>-reductie opleveren.

Groen Gas kent verschillende vormen; op korte termijn kan alleen biogas geproduceerd worden, op de middellange termijn ook Substitute Natural Gas (SNG) en op de lange termijn wellicht waterstof. De techniek om biogas te produceren is vergisting. Vervolgens kan dit gas worden opgewerkt tot aardgaskwaliteit. SNG en waterstof kan geproduceerd worden door eerst biomassa te vergassen tot syngas dit vervolgens te methaniseren tot SNG of waterstof. In het volgend tekstkader gaan we dieper in op deze productietechnieken.



## Productietechnieken van Groen Gas

### Vergisting

Vergisting is op dit moment de enige techniek waarmee daadwerkelijk groen gas kan worden geproduceerd. Dit vindt plaats in een biogasinstallatie waarin biomassa wordt afgebroken tot methaangas. Deze afbraak vindt plaats in verschillende tussenstappen. Iedere tussenstap wordt door specifieke bacteriën uitgevoerd. Het leefmilieu van de bacteriën en een verandering in de samenstelling van de biomassa zijn daarom kritische factoren voor het energetisch rendement. Opwerking van biogas tot aardgaskwaliteit en injectie van het opgewerkte product in aardgasnet of toepassing in vervoer zijn sinds decennia gangbare technologieën. Hoe succesvol biogas tot hoogwaardig 'Groen Gas' kan worden opgewerkt, is afhankelijk van het soort biomassa wat vergist wordt. Bij zowel vergassing als bij opwerking zijn nog technische innovaties mogelijk, zoals is aangetoond door recente ontwikkelingen in Duitsland en Scandinavië met thermische voorbewerking, voorbewerking door drukverhoging en akoestische stimulering van het vergistingproces zelf.

### Vergassing

Andere technieken voor groen gas productie zoals superkritische vergassing in waterfase, microbiologische omzetting van biomassa naar waterstof of allotherme vergassing zijn nog in ontwikkeling of bevinden zich nog in de demonstratiefase. Deze zullen pas over minimaal tien jaar exploitabel zijn. Een mogelijke uitzondering hierop is het HT Winkler proces, hoge druk wervelbed vergassing met zuurstof en stoom. In de jaren tachtig zijn een demonstratie-installatie en een commerciële installatie operationeel geweest, waarbij geproduceerd synthesesgas werd gebruikt voor productie van methanol (Berrenrath, Duitsland) en ammoniak (Oulu, Finland).

Theoretisch gezien zijn er vier verschillende afzetmogelijkheden zoals het volgende tekstkader laat zien. Of groen gas ook van betekenis kan zijn bij de stadsverwarming Amsterdam is nog maar de vraag. Het aanleggen van een lokaal netwerk voor groen gas is alleen rendabel bij een zeer omvangrijke vraag. Daarvoor is de vraag van de hulpwarmteketels in Amsterdam waarschijnlijk niet groot genoeg. Het bijmengen van groen gas in het bestaande net is een volgende optie, maar kent als nadeel dat het gas aan stringente voorwaarden moet voldoen. Daarvoor zijn niet alle biomassastromen geschikt. Bovendien is de vraag in hoeverre die bijmenging van groen gas administratief kan worden toegekend aan Amsterdam. Daarvoor zou een certificeringssysteem voor groen gas nodig zijn. Een laatste optie is het stoken van groen gas in bijvoorbeeld de Diemencentrale. Of dat reëel is hangt af van het energetische rendement (het is veel efficiënter om de biomassa in een kolencentrale te stoken) en de voorwaarden waaraan het gas moet voldoen om bij de Diemencentrale gestookt moet kunnen worden.

Een laatste opmerking over groen gas is ten slotte op zijn plaats; Groen gas wordt geproduceerd uit biomassa en kent dus dezelfde problematiek op het gebied van andere duurzaamheidsaspecten. Denk daarbij aan het verlies aan biodiversiteit en landverdringing voor voedsel in ontwikkelingslanden. In het kader van dit soort problemen heeft de Commissie Cramer criteria ontwikkeld waarmee de duurzaamheid van (geïmporteerde) biomassa getoetst kan worden.

## Vier afzetmogelijkheden voor Groen Gas

### **Injectie op het aardgasnetwerk**

Bij grootschalige injectie van Groen Gas op het bestaande aardgasnetwerk wordt het Groen Gas geïnjecteerd en vermengd met het conventionele Gronings Aardgas. Absolute vereiste hierbij is dat de kwaliteit van het aardgas niet achteruit gaat. Mogelijk nadeel ten opzichte van de overige twee toepassingsmogelijkheden is dat hiervoor voldaan moet worden aan de zeer stringente kwaliteitseisen van de Wobbe-index omtrent het dauwpunt, vochtpercentage, etc. Dit kan wellicht beperkingen opleggen aan de inzet van bepaalde technieken op biomassastromen.

### **'Stand-alone' toepassing:**

Om deze technische beperkingen enigszins te vermijden en toch een toepassing van Groen Gas te creëren, is het wellicht goed mogelijk om een biogasinstallatie te realiseren ter plaatse van een industrieel bedrijf wat momenteel een zeer groot verbruik van aardgas kent. Hiermee zou het mogelijk kunnen zijn dat de volledige aardgasbehoefte van het bedrijf vervangen kan worden door de biogasproductie in de te realiseren installatie. In feite zou de aardgasaansluiting uitsluitend gehandhaafd hoeven worden voor calamiteiten in de biogasinstallatie.

### **Gesloten 'Groen-Gas-Net'**

Wellicht is het mogelijk dat een volledig duurzaam bedrijventerrein van het aardgasnet afgekoppeld kan worden en middels Groen Gas uit een biogasinstallatie een dekkende energievoorziening gerealiseerd kan worden. Uiteraard zal er fysiek altijd een aansluiting op het aardgasnet noodzakelijk zijn voor calamiteiten, maar in principe bestaat in een dergelijke situatie een lokaal 'Groen-Gas-Net' waarin biogas getransporteerd wordt naar de bedrijven wat van vergelijkbare kwaliteit is.

### **Autogas**

Groen Gas kan ook worden toegepast als voertuig brandstof. Zolang het nog niet duidelijk is onder welke voorwaarden waaronder groen gas aan het aardgasnet mag worden aangeboden zou toepassing als voertuig brandstof een alternatieve outlet kunnen zijn.



## 6 Samenvatting: visie op stadsverwarming in Amsterdam

### **Efficiënt gebruik van fossiele bronnen door stadsverwarming**

De komende decennia zullen fossiele brandstoffen nog een belangrijk rol spelen in onze energievoorziening, al dan niet in combinatie met CO<sub>2</sub>-opslag. In het kader van het klimaatprobleem is het zaak om deze fossiele bronnen zo efficiënt mogelijk in te zetten. Stadsverwarming speelt daarin een belangrijke rol. Amsterdam is uitermate geschikt voor stadsverwarming. Enerzijds vanwege de grote warmtedichtheid door de compact en stedelijke bouw, anderzijds omdat er drie grote elektriciteitscentrales (AVI, Diemen en Hemweg) in de onmiddellijke nabijheid van de stad te vinden zijn. Stadsverwarming wordt in fases aangelegd en de sluiting van de verschillende delen vindt niet altijd meteen plaats; soms is het strategisch om tijdelijk met een lager rendement genoeg te nemen (bijvoorbeeld door het inschakelen van mini-WKK) om later het betere rendement van stadsverwarming te kunnen benutten.

Bij stadsverwarming wordt CO<sub>2</sub>-reductie bereikt - in vergelijking met de huidige situatie waarin een CV-ketel zorg draagt voor de verwarming van ruimtes en tapwater - door de restwarmte van grote elektriciteitscentrales te benutten. Althans dat geldt in Amsterdam voor de AVI en de Diemencentrale. Deze centrales leveren respectievelijk 30% en 60% CO<sub>2</sub>-reductie ten opzichte van de CV-ketel op (bij de veronderstelde rendementen). Vanuit milieukundig oogpunt is het dus raadzaam om beide centrales zoveel mogelijk in WKC-bedrijf te stellen. Of de Hemwegcentrale in WK-bedrijf CO<sub>2</sub>-reductie oplevert is nog maar zeer de vraag. Of dit al dan niet het geval is, blijkt zeer afhankelijk te zijn van de uitgangspunten in het rekenmodel. Een verklaring hiervoor is de hoge emissiefactor van kolen als brandstof van deze centrale. De brandstof van de referentietechniek (gas) heeft een emissiefactor die bij benadering een factor twee lager is.

### **Hoefijzernet maakt keuze tussen de warmtebronnen mogelijk**

Een hoefijzernet heeft als groot voordeel dat het de inzet van de milieubronnen flexibel maakt. Dit biedt voordelen voor de leveringszekerheid, maar belangrijker nog: daardoor kan de schoonste bron maximaal worden benut. In deze studie bleek dat de Diemencentrale en de AVI beide in WK-bedrijf CO<sub>2</sub>-reductie opleveren ten opzichte van de huidige situatie waarin de CV-ketel de woning en het tapwater verwarmt. Maar daarmee is nog niets gezegd over hoe schoon de bronnen ten opzichte van elkaar zijn. Om daar onderbouwd iets over te kunnen zeggen, hebben we CO<sub>2</sub>-emissie in twee situaties vergeleken; situatie A waarin de AVI-centrale in WK-bedrijf wordt gesteld en de Diemencentrale solo elektrisch draait en situatie B waarin het omgekeerde geldt. Daarbij hebben we gesteld dat de brandstofhoeveelheid van de AVI in beide situaties gelijk is en vast staat (de AVI moet immers het aangeboden afval verwerken). Verder is voor de vergelijkbaarheid gesteld dat niet alleen de warmteproductie in beide situaties gelijk moet zijn maar ook de elektriciteitsproductie.

Het verschil in CO<sub>2</sub>-emissie tussen beide situaties is marginaal; de situatie waarin de Diemencentrale in WK-bedrijf wordt gesteld heeft een 3% lagere emissie. Hoewel het model niet heel gevoelig is voor een verandering van de variabelen, kan bij andere variabelen (zoals de energetische rendementen) dit omslaan ten gunste van de AVI. Gezien dit resultaat maakt het in een hoefijzernet qua CO<sub>2</sub>-reductie niet veel uit of de Diemencentrale of de AVI wordt ingezet als warmtebron.

### **Warmtenet biedt mogelijkheden voor een duurzame energievoorziening**

Warmtelevering past goed in het eindbeeld waarin je koolstofloze energiedragers inzet, en de brandstoffen centraal omzet. De stap naar een duurzame energievoorziening is dus mogelijk met een warmtenet. Restwarmte kan bijvoorbeeld worden vervangen door duurzame warmtebronnen zoals warmtepompen, WKO en geothermie. Een andere mogelijkheid is dat de brandstof van de centrales klimaatneutraal worden gemaakt, bijvoorbeeld door CO<sub>2</sub>-opslag of door de huidige grijze bronnen te vervangen door biomassa. Vanwege de milieuvoordelen zou daarbij nu al ingezet kunnen worden op laag temperatuur verwarming (LTV), of ten minste midden temperatuurverwarming (MTV). De milieuvoordelen liggen in lagere leidingverliezen, lager verbruik in de woning, maar met name ook om de betere mogelijkheden om later de warmtelevering te verduurzamen (voor warmtepompen en warmte-/koudeopslag is LTV een voorwaarde). Daarnaast biedt LTV wellicht mogelijkheden om restwarmte van een lagere temperatuur te benutten bij de centrales. Daardoor zal er minder derving aan elektriciteitsproductie zijn.

### **'Stadsverwarming tenzij beleid' is raadzaam**

CE onderschrijft de keuze van Amsterdam om een warmte tenzij beleid te voeren. Vooral in de bestaande bouw kan stadsverwarming de komende decennia voor aanzienlijke CO<sub>2</sub>-reductie zorgen, temeer omdat de AVI en de Diemencentrale gevoed worden met een relatief schone brandstof. Voor met name nieuwbouw is het echter niet verstandig om per definitie te kiezen voor stadsverwarming. Het programma Schoon en Zuinig belooft een fikse EPC aanscherping, waardoor de absolute warmtevraag sterk daalt. Dat zet de milieuwinst en de betaalbaarheid van stadsverwarming (en andere collectieve systemen) sterk onder druk. Door een lager warmteverbruik nemen de distributieverliezen namelijk relatief toe. Bovendien blijft er ontwikkeling in duurzame energietechnieken plaatsvinden, die in vergelijking met stadsverwarming milieukundig en of economisch uiteindelijk beter kunnen scoren. Bij nieuwbouw is het daarom aan te bevelen om tijdens het ontwerpen van iedere woonwijk steeds opnieuw de reële mogelijkheden voor een duurzame energievoorziening te beschouwen en te vergelijken.



### **Energievisie voor koudevoorziening**

Aangezien in Amsterdam op kantoorlocaties en ook op steeds meer woningbouwlocaties, ook een koudevraag is, moet voor zo'n gehele locatie steeds verplicht een energievisie worden opgesteld waarin zowel warmte- als koudevraag wordt beschouwd. De hoofdalternatieven zijn dan 1) gescheiden opwekking, 2) restwarmtelevering en een centrale invulling van de koudevraag (bij voorkeur duurzame koude), en 3) WKO. Eenmaal gekozen, moet de gemeente of stadsdeel de beleidsinstrumenten hebben om die keuze eventueel ook af te dwingen in het bouwproces.





## 7 Literatuur

### **Bachmann, 1999**

Rolf Bachmann, Henrik Nielsen, Judy Warner, Rolf Kehlhofer Combined cycle gas and steam power plants  
S.I. : Pennwell, 1999

### **CE, 2001**

J.T.W. Vroonhof  
Elektriciteit uit AVI's  
Delft : CE Delft, 2001

### **CE, 2004**

M. Blom, F. Roojiers, K. Singels  
EPL voor bedrijventerreinen  
Delft : CE Delft, 2004

### **ECN, 2004**

F.A.T.M. Ligthart  
9 energieadviezen aan Amsterdam; bundeling van ECN-notities: van isolatie tot stadsverwarming  
Petten : ECN, 2004

### **EnergieNed 2007**

Tariefadvies voor de levering van warmte aan kleinverbruikers 2007  
Arnhem : EnergieNed, 2007

### **SenterNovem, 2006 a**

L. Bosselaar, T. Gerlagh  
Protocol monitoring duurzame energie; update 2006  
Utrecht : SenterNovem, 2006

### **SenterNovem, 2006 b**

H.H.J. Vreuls  
Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO<sub>2</sub>-emissiefactoren  
Utrecht : SenterNovem, 2006



## **CE Delft**

**Oplossingen voor  
milieu, economie  
en technologie**

Oude Delft 180

2611 HH Delft

tel: 015 2 150 150

fax: 015 2 150 151

e-mail: ce@ce.nl

website: www.ce.nl

Besloten Vennootschap

KvK 27251086

# **Configuraties en optimalisaties van het warmtenet in Amsterdam**

Technische en milieukundige  
achtergrondinformatie

Bijlagen

## **Rapport**

Delft, april 2008

Opgesteld door: M.I. (Margret) Groot  
C. (Cor) Leguijt  
J.H.B. (Jos) Benner  
H.J. (Harry) Croezen





## A Warmtelevering in Amsterdam (2006)

Tabel 3 Warmtelevering in Amsterdam

Stadsdeel	Particulieren Warmte (GJ)	Bedrijven Warmte (GJ)	Levering door
Amsterdam-Centrum	19.000	19.462	Wkk
Westpoort	36.475	224.173	60% AEB, overig wkk
Westelijke Tuinsteden	22.579	11.781	Wkk
Oud-West	2.584	3.051	Wkk
Zeeburg en IJburg	129.247	10.857	Wkk
Bos en Lommer	12.580	2.451	Wkk
De Baarsjes	574	678	Wkk
Amsterdam Noord	13.429	13.972	Wkk
Geuzenveld-Slotermeer	2.440	2.881	Wkk
Osdorp	25.099	1.032	Wkk
Slotervaart	4.881	5.762	Wkk
Zuidoost	80.319	440.776	Diemen
Oost-Watergraafsmeer	21.546	5.295	Wkk
Amsterdam Oud Zuid	2.431	16.806	Diemen
Zuideramstel	18.091	271.383	Diemen & VU
<b>Totaal</b>	<b>391.275</b>	<b>1.030.360</b>	



## B CO<sub>2</sub>-emissie toe te rekenen aan de warmtelevering

Met name kolencentrales draaien op veel momenten op vollast. Er kan dan wel warmte worden afgetapt voor de levering aan het warmtenet, maar er kan niet bij gestookt worden om de elektriciteitsproductie op peil te houden. Het verlies aan elektriciteitsproductie wordt dan opgevangen door andere centrales, zoals bijvoorbeeld een STEG, die voor een belangrijk deel geen kolen stoken en daarmee een lagere uitstoot aan CO<sub>2</sub> opleveren per kWh. Sommige partijen zien deze waarde als het uitstooteffect van de warmtelevering van een warmtekrachtcentrale (WKC). In deze redenering kan CE Delft meegaan zolang aan de elektriciteitsproductie van de WKC dan ook een hogere CO<sub>2</sub>-emissie per kWh wordt verbonden. Aangezien de betreffende centrale minder kWh produceert in warmtekrachtbedrijf en de CO<sub>2</sub>-emissie gelijk blijft zal immers de hoeveelheid CO<sub>2</sub>-emissie per kWh toenemen. Dit is echter lastig, zo niet onmogelijk, te administreren, binnen het huidige etiketteringsstelsel voor stroom. Daarom vindt CE Delft het reëel om de volgende hoeveelheid CO<sub>2</sub> van de WKC aan de warmte toe te rekenen (waarin KC staat voor krachtcentrale<sup>4</sup>):

*CO<sub>2</sub>-emissie WKC – (elek.productie/elek rendement KC \* emissiefactor brandstof KC)*

Wanneer men uitgaat van elektriciteitsopwekking in een efficiëntere centrale zoals de STEG, dan wordt de CO<sub>2</sub> emissie op de volgende wijze berekend:

*Verlies aan elek.productie WKC/elek.rendement STEG \* emissiefactor brandstof STEG)*

---

<sup>4</sup> De centrale als deze in solo elektrisch bedrijf is gesteld.





## C Wat is beter: AVI of Diemen in WK bedrijf?



