

April 2003

ECN-C--03-042

## **Verkenningen energie-infrastructuur Amsterdam-Noord**

M. Menkveld  
H. Jeeninga  
F.A.T.M. Ligthart  
K.J. Strootman

## Verantwoording

Deze studie is uitgevoerd in opdracht van Novem ten behoeve van het stadsdeel Amsterdam-Noord. De studie is bij ECN bekend onder het projectnummer 7.7508.

## Abstract

This report presents an outlook for choices on energy-infrastructure on the long (2030) and the short term (2010) for the urban district of Amsterdam-Noord. In the long term there are substitutes for natural gas with low CO<sub>2</sub> emissions. Also district heating and the all-electric-scenario are possible. Most alternatives need a different energy-infrastructure. Because of uncertainties it is not possible to make a choice now for the future. Reduction of energy use fits in every scenario. For the short-term district heating gives the most CO<sub>2</sub> emission reduction. It is recommended to gain experience with the all-electric-scenario via the implementation of small-scale projects.

# INHOUD

SAMENVATTING	5
S.1 Lange termijn (2030 en verder)	5
S.2 Korte termijn (rond 2010)	5
S.3 Beleidsaanbevelingen	5
1. INLEIDING	7
1.1 Aanleiding	7
1.2 Probleemstelling	7
1.3 Aanpak	7
1.4 Leeswijzer	8
2. ENERGIEVRAAG AMSTERDAM-NOORD	9
2.1 Huidige energievraag	9
2.2 Ontwikkelingen stadsdeel Amsterdam-Noord	10
2.3 Projecten Amsterdam-Noord	13
2.3.1 Centrum Amsterdam-Noord (CAN)	13
2.3.2 Centrale deel van de Noordelijke IJ-oever	13
2.3.3 Van Hasseltzone	13
2.3.4 Hamerstraat	14
2.3.5 Bongerd	14
2.3.6 De Banne en Nieuwendam-Noord	14
3. OPLOSSINGSRICHTINGEN CO <sub>2</sub> -REDUCTIE	15
3.1 CO <sub>2</sub> -reductie in de gebouwde omgeving	15
3.2 Beperken van de energievraag	16
3.2.1 Woningbouw	16
3.2.2 Utiliteitsbouw	16
3.3 Verlagen CO <sub>2</sub> -inhoud energiedragers	19
3.3.1 Lange termijn (2030)	19
3.3.2 Korte termijn (2010)	21
3.3.3 Keuzevrijheid versus stuurbaarheid	25
4. VISIE OPTIMALE ENERGIE-INFRASTRUCTUUR	27
4.1 Eindbeeld vergelijken met het heden	27
4.2 Lange termijn (2030)	27
4.2.1 Oplossingsrichtingen	27
4.2.2 Conventionele en nieuwe energiedragers	27
4.2.3 Nog geen duidelijke keuze	28
4.2.4 Elektriciteitsvoorziening	29
4.3 Korte termijn (2010)	29
4.3.1 Warmtenet	29
4.3.2 All-electric route	29
4.3.3 Dilemma: keuzevrijheid versus stuurbaarheid	30
4.3.4 Beperken energievraag	30
4.4 Beleidsaanbevelingen voor het stadsdeel	30
4.4.1 Warmtenet	30
4.4.2 All-electric	30
4.4.3 Beperken energievraag	31
4.4.4 Afzonderlijke projecten	31
4.4.5 BAEI	31
4.4.6 Reductiedoelstelling	31
REFERENTIES	33
INTERNET BRONNEN	34

BIJLAGE A	PRODUCTIE, DISTRIBUTIE EN CONVERSIE ENERGIEDRAGERS	35
A.1	Elektriciteit	35
	A.1.1 Productie	35
	A.1.2 Distributie	35
	A.1.3 Lokale conversie	35
A.2	Waterstof (H <sub>2</sub> )	36
	A.2.1 Productie	36
	A.2.2 Infrastructuur	36
	A.2.3 Lokale conversie	36
A.3	Warmte	37
	A.3.1 Productie	37
	A.3.2 Distributie	37
	A.3.3 Lokale conversie	38
A.4	Synthesegas	38
	A.4.1 Productie	38
	A.4.2 Infrastructuur	38
	A.4.3 Lokale conversie	38
A.5	Synthetisch aardgas (SNG)	38
	A.5.1 Productie	38
	A.5.2 Distributie	39
	A.5.3 Energieconversie	39

## SAMENVATTING

De komende decennia zal Amsterdam-Noord ingrijpend veranderen door grote herstructureringen met veel nieuwbouw van woningen, kantoren voorzieningen en bedrijventerreinen. Dit rapport geeft een verkenning van de mogelijkheden voor een optimale energie-infrastructuur op de lange en korte termijn.

### S.1 Lange termijn (2030 en verder)

Er zijn grofweg twee verschillende mogelijkheden om de CO<sub>2</sub>-emissie die wordt toegerekend aan de energievraag in de gebouwde omgeving te beperken:

1. Het beperken van de energievraag.
2. Het verlagen van de CO<sub>2</sub>-inhoud van energiedragers die in die energievraag voorzien.

De tweede oplossingsrichting biedt op lange termijn mogelijkheden om de CO<sub>2</sub>-emissies met meer dan 90% te reduceren door de inzet van hernieuwbare of klimaatneutrale energiedragers<sup>1</sup>.

Naast de nu reeds bekende energiedragers gas, elektriciteit en warmte zijn er in 2030 wellicht nieuwe energiedragers beschikbaar: waterstof, synthese gas en synthetisch aardgas. Zo zijn er vier routes voor verregaande CO<sub>2</sub>-reductie met een *verschillende* energie-infrastructuur: een aardgasnet, een warmtenet, de all-electric route en een waterstofnet. Synthese gas en synthetisch aardgas kan in de toekomst door het bestaande aardgasnet worden getransporteerd. Het is nog niet mogelijk om op dit moment voor één energie-infrastructuur te kiezen die alle mogelijkheden open houdt. Van een aantal sleuteltechnologieën is nog niet bewezen of deze ook in de praktijk tegen aanvaardbare kosten toe te passen zijn. Hierdoor is het niet raadzaam nu al te kiezen voor één van de mogelijke routes. Beperken van de energievraag past wel in alle toekomstbeelden en is dus een robuuste keuze.

### S.2 Korte termijn (rond 2010)

Op korte termijn beperken de alternatieven voor een aardgasnet zich tot een warmtenet of de all-electric route. Realisatie van een warmtenet beidt op korte termijn de hoogste CO<sub>2</sub>-reductie (tussen de 20 en 50%). De CO<sub>2</sub>-reductie die bereikt kan worden via de all-electric route is afhankelijk van de wijze waarop de elektriciteit wordt opgewekt. De all-electric route is op lange termijn aantrekkelijk omdat verwacht mag worden dat de CO<sub>2</sub>-inhoud van elektriciteit zal dalen. Voor de korte termijn is het van belang ervaring met de all-electric route op te doen.

Beperking van de energievraag zou op korte termijn een belangrijk aandachtspunt moeten zijn in het beleid van het stadsdeel Amsterdam-Noord gezien de grote herstructureringsopgave. Juist bij nieuwbouw worden keuzes gemaakt in stedenbouwkundige inrichting, bouwkundig ontwerp en isolatiegraad die bepalend zullen zijn voor de energievraag op lange termijn.

### S.3 Beleidsaanbevelingen

De plannen voor een warmtenet binnen de ring bieden een unieke kans voor aanzienlijke CO<sub>2</sub>-reductie op korte termijn. Aanbevolen wordt dat het stadsdeel met de energieleverancier gaat overleggen welke projecten qua ruimtelijke planning nog op een warmtenet aangesloten kunnen

---

<sup>1</sup> Hernieuwbare energiedragers zijn geproduceerd met behulp van duurzame bronnen: zon, wind, biomassa of waterkracht. Klimaatneutrale energiedragers worden geproduceerd uit fossiele brandstoffen, zoals aardgas. De bij de productie van klimaatneutrale energiedragers vrijkomende CO<sub>2</sub> wordt afgevangen en opgeslagen in de bodem.

worden. Het overleg zou ook in duidelijkheid moeten verschaffen over garanties omtrent CO<sub>2</sub>-inhoud van de geleverde warmte, de benodigde fysieke ruimte voor de aanleg van een warmtewet en de warmtetarieven. Verder verdient het aanbeveling ervaring op te doen met de all-electric route in projecten op kleine schaal en is het belangrijk de aandacht te richten op beperking van de energievraag bij nieuwbouw en renovatie.

# 1. INLEIDING

## 1.1 Aanleiding

De komende decennia zal Amsterdam-Noord ingrijpend veranderen. Stadsdeel Amsterdam-Noord is momenteel bijvoorbeeld bezig met het voorontwerp Masterplan Noordelijke IJ-oever Amsterdam. Dit plan geeft aan hoe dit gebied op de lange termijn zal uitgroeien tot een stedelijk, aantrekkelijk en afwisselend woon- werkgebied. Het wordt een gebied met naar schatting 13.000 nieuwe woningen, 22.000 arbeidsplaatsen en vele voorzieningen. Maar ook op andere plaatsen in Amsterdam-Noord staan grote herstructureringen op stapel. De bouw van de Bongerd, de herstructurering van het Centrumgebied Amsterdam-Noord, de aanleg van de Noord-Zuidlijn, Nieuwendam-Noord en De Banne. Een visie op een optimale energie-infrastructuur op de lange termijn voor deze gebieden ontbreekt nog.

In het stadsdeel zijn verschillende energie-infrastructuren momenteel onderwerp van discussie, zoals de aanleg van een warmtenet binnen de ring. Wat betekent dit voor Amsterdam-Noord? Wat zijn de alternatieven? Hoe ziet een all-electric-scenario eruit? Gezien het toekomstbeeld van een 'waterstofeconomie' zijn er vragen rondom een waterstofnet. De vraag is of het stadsdeel Amsterdam-Noord een infrastructuur kan realiseren die in de toekomst ook geschikt is voor transport van waterstofgas. Is het mogelijk om een warmtenet te voeden met warmte afkomstig van waterstof? En hoeveel CO<sub>2</sub>-reductie is haalbaar als het stadsdeel vooral inzet op isoleren van gebouwen? Tenslotte is de vraag gesteld of een CO<sub>2</sub>-reductie van 50% zoals voor Parkstad is berekend (Ligthart et al., 2000) ook voor Amsterdam-Noord een denkbaar en haalbaar ambitieniveau is.

## 1.2 Probleemstelling

Om ten aanzien van energie-infrastructuur goed onderbouwde keuzes te kunnen maken in de verschillende projecten in het kader van stedelijke vernieuwing heeft het stadsdeel Amsterdam-Noord behoefte aan een verkenning van de mogelijkheden op lange en korte termijn. Welke energie-infrastructuur levert het meeste CO<sub>2</sub>-reductie op? Welke energie-infrastructuur is het meest flexibel? Met welke randvoorwaarden moet het stadsdeel rekening houden bij een keuze voor een bepaalde energie-infrastructuur?

## 1.3 Aanpak

Doelstelling is het ontwikkelen van een visie op de optimale energie-infrastructuur voor het stadsdeel Amsterdam-Noord, rekening houdend met nieuwe ruimtelijke ontwikkelingen, voor de korte (tot 2010), en lange termijn (tot 2030).

Op de termijn van 2030 wordt door de Nederlandse overheid op aanzienlijke CO<sub>2</sub>-reducties aangestuurd. In het Nationaal Milieubeleidsplan (NMP4) wordt aangegeven dat een vermindering van de uitstoot van broeikasgassen met 50% in 2030 ten opzichte van 1990 noodzakelijk is. Een probleem als klimaatverandering is zeer complex, waarbij milieuambitie en sociaal-economische factoren sterk verweven zijn. Technologische, economische, sociaal-culturele en institutionele veranderingen moeten elkaar hierbij versterken. In het NMP 4 wordt dit de 'transitie' naar een duurzame energiehuishouding' genoemd.

De vraag is welke rol verschillende energie-infrastructuren in die 'transitie' naar een duurzame energiehuishouding spelen. Het gaat om 'bekende' energiedragers zoals aardgas, warmte, of

elektriciteit, maar ook om ‘nieuwe’ energiedragers zoals waterstof en andere klimaatneutrale energiedragers. Een klimaatneutrale energiedrager is bijvoorbeeld synthetisch aardgas, waarbij de CO<sub>2</sub> uit aardgas is afgevangen en ondergronds wordt opgeslagen. Een andere optie is synthetische gas dat wordt geproduceerd door biomassa te vergassen.

In opdracht van de Algemene Energie Raad is recentelijk door ECN een studie verricht naar de eisen die gesteld moeten worden aan de toekomstige infrastructuur om een transitie naar een duurzame energievoorziening mogelijk te maken (AER, 2002). Hierbij stond de flexibiliteit van de energie-infrastructuur centraal. Tevens is in opdracht van het Ministerie van VROM onderzocht wat de mogelijke bijdrage van klimaatneutrale energiedragers bij het bereiken van een korte (2010) en lange termijn (2030) reductiedoelstelling (Jeeninga et al., 2002). Onderzocht is onder andere hoe de oplossingsroute via klimaatneutrale energiedragers (een waterstofinfrastructuur, all-electric, synthetisch aardgas, klimaatneutrale warmte) zich verhoudt tot de overige oplossingsrichtingen ‘hernieuwbaar’ (pv, wind, zonneboilers, biomassa) en ‘efficiënt’ (vraagbeperking, efficiënte lokale conversie-opties). Tevens is een actieplan opgesteld voor 2010. Deze twee studies vormen een goed kader waarvan gebruik gemaakt kan worden bij een locatie specifieke invulling voor Amsterdam-Noord.

Op basis van bovengenoemde studies worden in dit rapport voor 2030 verschillende toekomstbeelden geschetst voor de energie-infrastructuur op lange termijn. Vanuit die beelden wordt een vertaling gemaakt naar de betekenis voor de korte termijn (2010). Die korte termijn visie moet bezien worden in het licht van de mogelijkheden die er in het stadsdeel Amsterdam-Noord zijn.

Het onderzoek start met het schetsen van een visie over energie-infrastructuur op lange termijn. Immers beleidsacties die op de korte termijn worden genomen, moeten passen in de visie op lange termijn. Als vanuit het heden een ‘transitie’ vormgegeven zou worden, dan valt de keuze op maatregelen die op dit moment als optimaal worden beschouwd. Deze strategie heeft echter als belangrijk nadeel dat een situatie kan ontstaan waarbij ‘permanente’ vraagbeperkende opties die naderhand niet of alleen tegen zeer hoge kosten kunnen worden genomen, het moeten afleggen tegen efficiënte of geavanceerde energieconversie opties met een beperkte levensduur en een gunstigere korte termijn rentabiliteit.

## 1.4 Leeswijzer

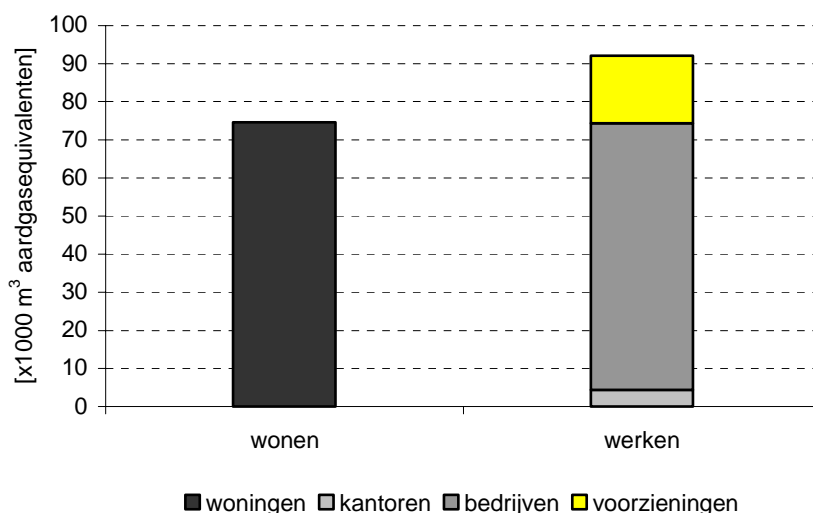
De uitwerking van oplossingsrichtingen voor CO<sub>2</sub>-reductie hangen samen met de opbouw van de energievraag in het stadsdeel Amsterdam-Noord, zoals de verdeling over woningen, kantoren, bedrijven en voorzieningen. In het kader van de stedelijke vernieuwing in het stadsdeel vindt in verschillende projecten nieuwbouw en renovatie plaats. In Hoofdstuk 2 wordt de energievraag van het stadsdeel Amsterdam-Noord beschouwd. Hoofdstuk 3 geeft inzicht in de mogelijkheden voor CO<sub>2</sub>-reductie op lange en korte termijn en de samenhang met de keuze voor een bepaalde energie-infrastructuur. In Hoofdstuk 4 worden conclusies geformuleerd t.a.v. de optimale energie-infrastructuur voor de lange en korte termijn en de beleidsaanbevelingen voor het stadsdeel die daaruit volgen.



## 2. ENERGIEVRAAG AMSTERDAM-NOORD

### 2.1 Huidige energievraag

Voor een analyse van de huidige energievraag in het stadsdeel Amsterdam-Noord is gebruik gemaakt van eerdere berekeningen van het energieverbruik in Amsterdam zoals deze door ECN in opdracht van de Milieudienst Amsterdam in het kader van voorbereiding op een energievissie zijn gemaakt (Menkveld et al., 2000). In Figuur 2.1 is een overzicht gegeven van de verdeling van het energiegebruik in Amsterdam-Noord over de functies wonen en werken en naar gebouwtype (woningen, kantoren, bedrijfsgebouwen en voorzieningen). Zowel de warmtevraag als de elektriciteitsvraag zijn daarin omgerekend naar inzet van fossiele brandstoffen (in aardgas-equivalenten).



Figuur 2.1 *Verdeling energiegebruik in Amsterdam-Noord (gebaseerd op een bewerking door ECN van cijfers uit de Milieuverkenning 1998 en het Jaarboek 1998 van O+S)*<sup>2</sup>

Het energiegebruik voor de functie werken is hoger dan het energiegebruik voor de functie wonen.

Bedrijven (voedingsmiddelen, textiel, drukkerijen, chemie, bouw en groothandel) nemen het grootste deel van het energiegebruik van de functie werken voor hun rekening. De chemie is de meest energie-intensieve bedrijfstak in Amsterdam-Noord. De chemie bepaalt 85% van het energiegebruik van bedrijven en 65% van het energiegebruik voor de functie werken in Amsterdam-Noord. Shell en Akzo Nobel zijn grote chemische bedrijven die in Amsterdam-Noord gevestigd zijn. In 1993 is met deze bedrijfstak als één van de eerste een meerjarenafspraak afgesloten. In de jaren erna is de CO<sub>2</sub>-reductie voortvarend aangepakt en zijn de nagestreefde cijfers voor een belangrijk deel gehaald. De energiebesparingsambitie voor de bedrijfstak Chemie is 8% voor de periode 1999-2010. Het stadsdeel kan het energiebesparing bij bedrijven stimuleren via de milieuvergunning.

<sup>2</sup> In de Milieuverkenning van Amsterdam is alleen het totale energiegebruik voor werken per stadsdeel aangegeven, zonder een opsplitsing te maken naar sector. Voor de verschillende stadsdelen zijn wel gegevens bekend over het aantal werkzame personen in een bepaalde sector. Met het specifieke energiegebruik per werknemer in een bepaalde sector kan echter wel het energiegebruik per sector en per stadsdeel worden berekend. Ter controle is dit 'berekende gebruik' vergeleken met het 'werkelijke' gebruik uit de Milieuverkenning.

Voorzieningen bestaan uit winkels, horeca, scholen, zorginstellingen, sportaccommodaties en gebouwen van de sector vervoer (tram, bus, etc). Binnen het energiegebruik van voorzieningen is het energiegebruik van winkels in Amsterdam-Noord het grootst (ca. eenderde van het totaal). Het energiegebruik van kantoren is slechts een klein deel van het energiegebruik voor de functie werken.

Het gemiddelde aardgasverbruik per woning in Amsterdam-Noord ligt rond de 1300 m<sup>3</sup> per jaar. Ten opzichte van andere stadsdelen ligt dit verbruik in de middenmoot. Echter ten opzichte van het landelijk gemiddelde is het Amsterdamse verbruik laag. Dat komt door de gemiddeld relatief kleine woningen in Amsterdam-Noord (gemiddeld oppervlak is 59,6 m<sup>2</sup>) en het feit dat het voor een groot deel om gestapelde bouw gaat (68% bestaat uit meergezinswoningen). Het percentage enkel glas ligt in Amsterdam-Noord met 40% rond het gemiddelde van Amsterdam. Amsterdam-Noord is na Oud-Zuid en de Binnenstad, het stadsdeel van Amsterdam met het grootste energiegebruik voor de functie wonen. Daarnaast heeft Amsterdam-Noord met ca. 39.000 woningen de op drie na grootste woningvoorraad van alle stadsdelen in Amsterdam.

## 2.2 Ontwikkelingen stadsdeel Amsterdam-Noord

De komende decennia zal de Amsterdam-Noord ingrijpend veranderen. Naast het belang van de ontwikkelingen voor het stadsdeel, is er ruimtebehoefte op stedelijk niveau voor wonen, werken en voorzieningen. Stadsdeel Noord biedt ruimte om groei van deze functies te accommoderen. In juli 2001 is Panorama Noord, de toekomstvisie voor Amsterdam-Noord door de Stadsdeelraad vastgesteld. Er wordt rekening gehouden met een mogelijke toename van 19.000 inwoners en 28.000 arbeidsplaatsen voor de periode tot 2015. In de plannen is een totaal van meer dan 3 miljoen m<sup>2</sup> bvo opgenomen (zie Tabel 2.1).

De bereikbaarheid van Amsterdam-Noord wordt verhoogd door het openbaar vervoer uit te bouwen. Met de aanleg van de Noord-Zuidlijn zijn de stations Johan van Hasseltweg en Buikslotermeer gepland. In het kader van de ontwikkeling van het Shell-terrein wordt voorgesteld ook het station Sixhaven meteen te realiseren. Naast deze metrolijn zal een fijnmazig netwerk van bussen en veerpontverbindingen zorgen voor een snelle verbinding met de rest van Amsterdam. Door al deze maatregelen krijgt Amsterdam-Noord een nieuwe impuls met groeiende werkgelegenheid in een druk en gemengd stedelijk gebied.

De huidige woningvoorraad van Amsterdam-Noord bevat 39.000 woningen. Tot het jaar 2015 worden 12.508 nieuwbouwwoningen gebouwd. Door sloop en vervangende nieuwbouw is de woningvoorraad van Amsterdam-Noord in 2015 ca. 45.000 woningen (Amsterdamse Bureau voor Onderzoek en Statistiek).

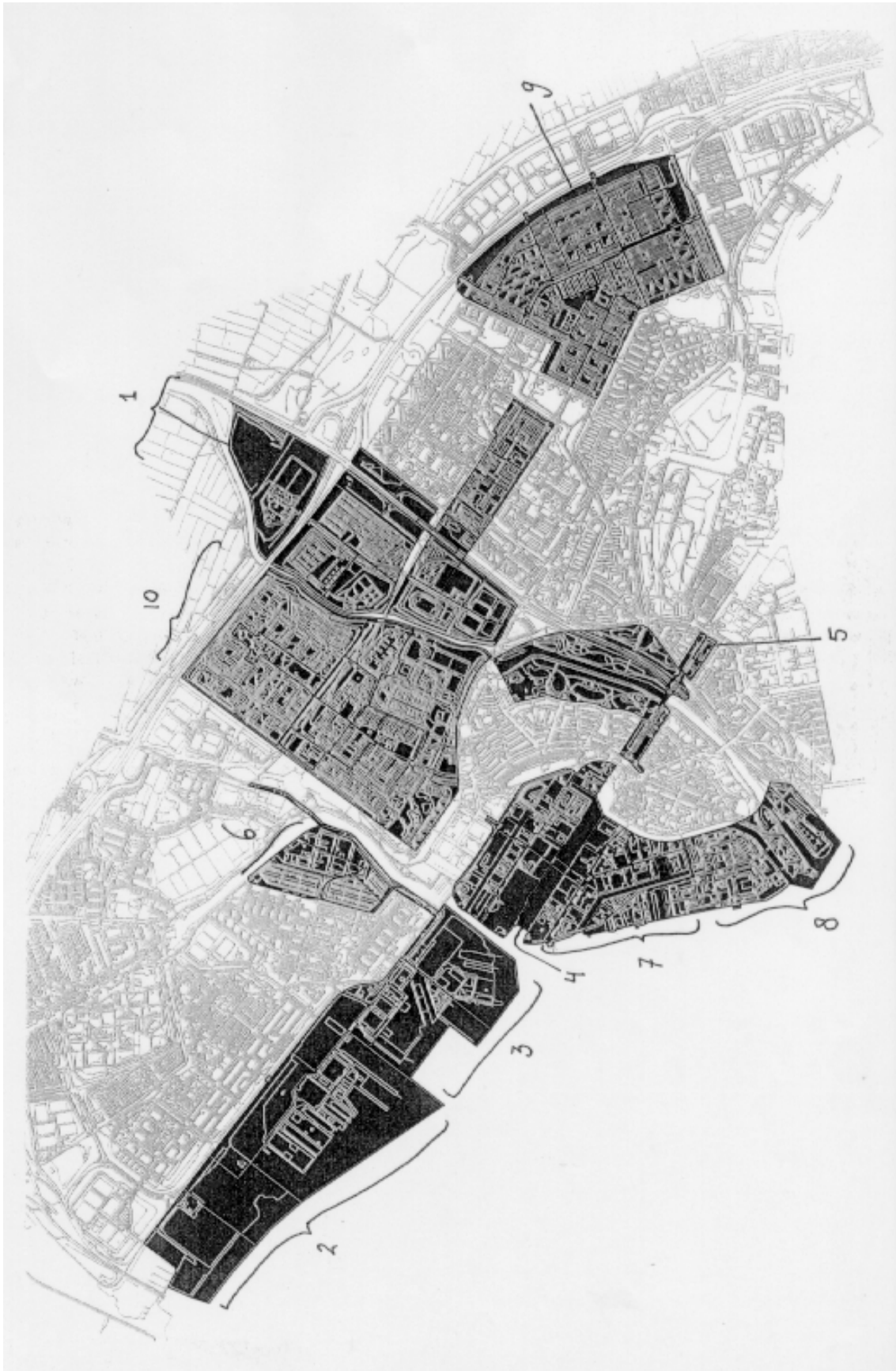
Tabel 2.1 *Overzicht projecten stedelijke vernieuwing stadsdeel Amsterdam-Noord 2002-2015*

Project	Kantoren	Bedrijven	Voorzieningen	Renovatie woningen	Nieuwbouw	Totaal m <sup>2</sup> bvo
1 Centrumgebied	190.000	8.00	162.500		3.000	720.500
2 C. Douwesterrein	13.700	300.000				313.700
3 NSM	110.000	90.000			2.000	400.000
4 van Hasseltzone	10.000	500	19.470		594	70.000
5 Hamerstraat	4.600	10.700				15.300
6 Bongerd			6.185		1.600	214.265
7 Buiksloterham		150.000	20.000			170.00
8 Shell-terrein	225.000	68.200	72.000		1.667	565.200
9 Nieuwendam-Noord	5.000	23.600	8.920	600	1.645	234.920
10 De Banne	3.500	3.000	60.000		1.468	236.360
kleine woningbouw					400	48.000
<i>Totaal</i>	<i>561.800</i>	<i>654.000</i>	<i>161.175</i>	<i>600</i>	<i>12.508</i>	<i>3.018.215</i>

De in Tabel 2.1 genoemde projecten zijn met dezelfde nummering ook opgenomen in Figuur 2.2.

Uit Tabel 2.1 blijkt dat er in de periode tot 2015 in het stadsdeel Amsterdam-Noord veel nieuwbouw zal plaatsvinden. Indien de nieuwbouw niet alleen vervanging is van bestaande bouw (sloop), maar ook een uitbreiding daarvan, dan zou de energievraag in het stadsdeel Amsterdam-Noord daardoor kunnen stijgen.

Uit Tabel 2.1 blijkt tevens dat herstructurering in de woningbouw voornamelijk zal plaatsvinden door nieuwbouw en niet door renovatie (het geplande percentage nieuwbouw is 95%, renovatie van woningen is slechts 5%).



Figuur 2.2 *Projecten Stedelijke vernieuwing Amsterdam-Noord*

## 2.3 Projecten Amsterdam-Noord

Deze paragraaf geeft een korte beschrijving van de verschillende projecten in het kader van stedelijke vernieuwing in het stadsdeel Amsterdam-Noord.

### 2.3.1 Centrum Amsterdam-Noord (CAN)

De plannen voor CAN (project 1 in Figuur 2.2) beogen het transformeren van het gebied van winkelcentrum en sportvelden tot een gevarieerd en aantrekkelijk regionaal centrum met een zeer goede ontsluiting voor autoverkeer (Nieuwe Leeuwarderweg) en het openbaar vervoer (Noord-Zuidlijn). Het concept van stedelijk wonen en werken vergt een vervoersknooppunt in het hart van het gebied waarvan de Noord-Zuidlijn het belangrijkste onderdeel vormt. Binnen het kerngebied is een sterke menging van functies voorzien: ruim 100.000 m<sup>2</sup> aan kantoren en 1500 woningen. De kantoren zijn grotendeels gepland rondom het toekomstige metrostation.

### 2.3.2 Centrale deel van de Noordelijke IJ-oever

Voor het Centrale Deel Noordelijke IJ-oevers is door de Gemeente Amsterdam, Stadsdeel Amsterdam-Noord en Shell een concept masterplan opgesteld (BVR/dRO, 2002a). Dit concept masterplan omvat een ontwikkelingsstrategie voor het centrale deel van de Noordelijke IJ-oever en geeft een nadere uitwerking voor de bedrijventerreinen Cornelis Douwes, NSM, Buiksloterham, en het Shell-terrein (respectievelijk projecten 2, 3, 7 en 8 in Figuur 2.2). Daarbij wordt ingezet op een centrumstedelijke ontwikkeling voor de Shell-locatie, gekoppeld aan de ontwikkeling van een nieuw technologiecentrum voor Shell. Tevens wordt een omvangrijk bouwprogramma aan woningen, kantoren, bedrijven en voorzieningen gerealiseerd. Het Cornelis Douwesterrein behoudt in eerste instantie zijn bedrijfsbestemming en in stadsdeel Buiksloterham zal een combinatie van werken en wonen mogelijk zijn. De Tolhuistuin zal een culturele en/of maatschappelijke functie krijgen. Op de plek van de huidige Sixhaven is ter hoogte van het sluiscomplex een metrostation gepland met daarboven woningbouw. De kop van de Sixhaven wordt gereserveerd voor een grootstedelijke openbare functie. Op het Shell-terrein is bijna 300.000 m<sup>2</sup> bedrijven en kantoren gepland naast ruim 70.000 m<sup>2</sup> voorzieningen en 1700 woningen. Voor Sixhaven omvatten de plannen 46.000 m<sup>2</sup> voorzieningen en 500 woningen. Shell gaat bij de voorgenomen investeringen uitdrukkelijk uit van de komst van de Noord-Zuidlijn.

Voor het bedrijventerrein Cornelis Douwes is door ECN eerder een studie verricht naar een optimale energie-infrastructuur (Lafleur et al., 2001). Het terrein wordt ontwikkeld tot een bedrijventerrein waar zich met name kleine en middelgrote bedrijven vestigen in bedrijfsverzamelgebouwen en bedrijfshallen. Er zijn 4 categorieën van bedrijven op dit terrein te onderscheiden, te weten de kleine industrie (reparatiebedrijven, elektrotechnische bedrijven, etc.), ICT & audio/video, zakelijke dienstverlening (reclame, architecten, catering, uitzendbureaus, etc.) en leisure (ontspanning, kinderdagverblijven).

### 2.3.3 Van Hasseltzone

Dit project (project 4 in Figuur 2.2) richt zich op de transformatie van de nu nog hooggelegen Van Hasseltweg tot Van Hasseltlaan, een nieuwe hoofdstraat van Midden-Noord omgeven door een omvangrijk bouwprogramma. In het plan zijn ongeveer 700 woningen en 30.000 m<sup>2</sup> voorzieningen opgenomen. Als eerste wordt gestart met de realisering van het bouwproject op de locatie van het Albatroscomplex.

#### 2.3.4 Hamerstraat

Het Hamerstraatgebied (project 5 in Figuur 2.2) loopt vanaf het Motorkanaal tot aan het gedempte Johan van Hasseltkanaal. Het gebied heeft een oppervlakte van 31 hectare, waarvan 21,5 hectare voor bedrijventerreinen. Midden jaren tachtig is reeds begonnen met de herstructurering van het Hamerstraatgebied. Nu is de herstructurering bijna voltooid. Doel was vooral het verbeteren van de infrastructuur. Via de nieuwe Van Hasseltweg en de weg over het gedempte Hamerkanaal zijn de bedrijven beter bereikbaar. Bovendien leverde de demping van een aantal kanalen nieuwe ruimte op. Inmiddels is begonnen met de bouw van bedrijfspanden en de aankleding van de openbare ruimte ([www.noord.amsterdam.nl](http://www.noord.amsterdam.nl)).

#### 2.3.5 Bongerd

In de nieuwe wijk Bongerd (project 6 in Figuur 2.2) worden ca. 1600 woningen gebouwd en voorzieningen. In 2000 heeft ECN reeds een OEI studie verricht voor deze wijk (Menkveld en Ruijg, 2000). Het uitgangspunt was de wijk collectief van warmte te voorzien door middel van een warmtenet. De zeer hoge bebouwingsdichtheid en een smal straatprofiel bemoeilijkt de aanleg van een warmtenet. Inmiddels is duidelijk dat warmtekrachtkoppeling op wijkniveau om die reden niet realiseerbaar is. Momenteel worden de mogelijkheden onderzocht om energiebesparing te bereiken door WKK op kleinere schaal, warmteterugwinning in de woningen en toepassing van PV.

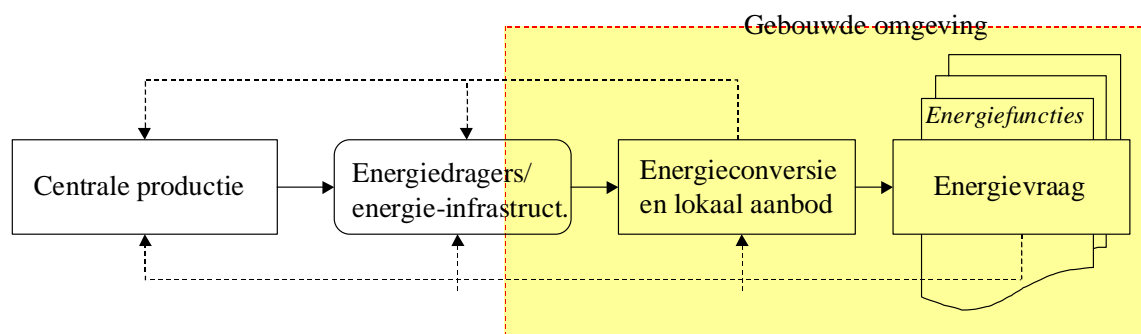
#### 2.3.6 De Banne en Nieuwendam-Noord

De wijken De Banne en Nieuwendam-Noord (projecten 9 en 10 in Figuur 2.2) bestaan uit hoofdzakelijk laagbouw woningbouw gecombineerd met kleine middenstand. Ondanks dat de twee wijken worden gewaardeerd door de bewoners, worden beide gebieden de komende 10 tot 15 jaar vernieuwd om ze ook voor de toekomst aantrekkelijk te houden voor de huidige en toekomstige bewoners. De realisatie vindt plaats binnen het kader van het Grote stedenbeleid zoals dat door het rijk en de gemeente Amsterdam wordt gevoerd (Amsterdam-Noord, 2000; DHV, 2001a en DHV, 2001b).

### 3. OPLOSSINGSRICHTINGEN CO<sub>2</sub>-REDUCTIE

#### 3.1 CO<sub>2</sub>-reductie in de gebouwde omgeving

De energie-infrastructuur is onderdeel van de energievoorziening. De energievoorziening is opgebouwd uit een viertal elementen (zie Figuur 3.1). In de vraag naar warmte en elektriciteit kan worden voorzien door een aantal energiedragers. In de huidige situatie is dit beperkt tot aardgas, warmte en elektriciteit of door lokaal duurzaam aanbod van warmte of elektriciteit (zonneboilers, PV). In de toekomst kunnen echter ook andere energiedragers een rol gaan spelen: waterstof (H<sub>2</sub>), synthetisch aardgas (SNG) of synthesesgas.



Figuur 3.1 Schematische weergave van de opbouw van de energievoorziening (Jeeninga et al., 2002)

Vaak geldt dat er verschillende mogelijkheden zijn om energiedragers centraal te produceren. Deze wijze van productie is sterk van invloed op de uiteindelijk aan de energievraag toe te rekenen CO<sub>2</sub>-emissie. Bij het opwekken van elektriciteit in een kolencentrale komt per eenheid geproduceerde elektriciteit circa twee keer zoveel CO<sub>2</sub>-vrij als in een gasgestookte centrale. Bij groene stroom uit hernieuwbare bronnen zoals windenergie komt helemaal geen CO<sub>2</sub>-vrij.

Er zijn grofweg twee verschillende mogelijkheden om de CO<sub>2</sub>-emissie die wordt toegerekend aan de energievraag in de gebouwde omgeving te beperken:

1. Het beperken van de energievraag.
2. Het verlagen van de CO<sub>2</sub>-inhoud van energiedragers die in die vraag voorzien.

Het beperken van de energievraag in de gebouwde omgeving kan door middel van isolatie van gebouwen, warmteterugwinning of via efficiënte conversie zoals HR-ketels. Het betreft hier met name het beperken van de warmtevraag (zie § 3.3). Daarbij zijn er in de woningbouw (zie § 3.3.1) en in de utiliteitsbouw (zie § 3.3.2) verschillende aandachtspunten. Het beperken van de elektriciteitsvraag valt wat betreft huishoudens buiten de invloedssfeer van gemeenten en wordt daarom buiten beschouwing gelaten. Voor bedrijven kan een verlaging van de elektriciteitsvraag een rol spelen in milieuvergunningen.

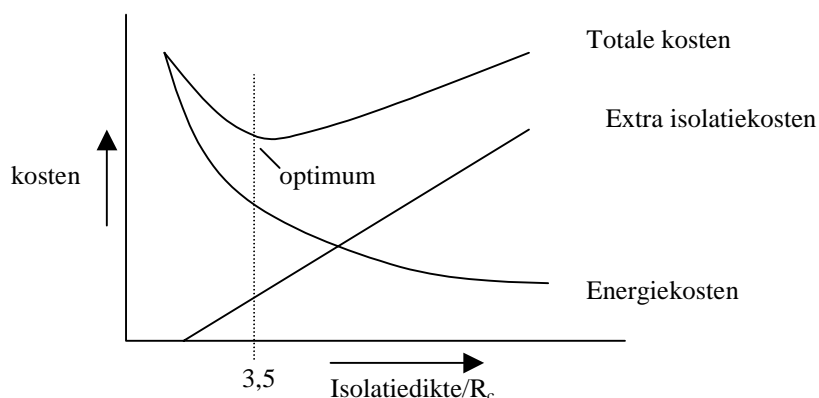
Het verlagen van de CO<sub>2</sub>-inhoud van energiedragers die in die vraag voorzien is het onderwerp van Paragraaf 3.4. Op lange termijn zijn er veel verschillende mogelijkheden voor klimaatneutrale of hernieuwbare energiedragers met een zeer lage energie-inhoud (zie § 3.4.1). Op korte termijn is het aantal alternatieven beperkter (zie § 3.4.2). Bij het verlagen van de CO<sub>2</sub>-inhoud van energiedragers komt een dilemma naar voren: de afweging tussen keuzevrijheid voor consumenten en stuurbaarheid van besparingen (zie § 3.4.3).

## 3.2 Beperken van de energievraag

### 3.2.1 Woningbouw

Bij het renoveren van bestaande woningen worden, afhankelijk van de beschikbare plaats, het dak en gevel nageïsoleerd. Voor nieuwbouwwoningen geldt dat met de huidige bouwconstructies eenvoudig en zonder onoverkomelijke meerkosten geïsoleerd kan worden met een isolatieweerstand van 3,0 of 3,5 m<sup>2</sup>K/W. Tegenwoordig worden steeds meer nieuwbouwprojecten al gerealiseerd met een isolatie van 4,0 m<sup>2</sup>K/W of hoger. Isolatie aanbrengen dient met zorg te gebeuren doordat isolatie alleen tijdens de bouwphase bereikbaar is en niet of nauwelijks gedurende de levensduur van een woning gewijzigd zal worden. Achteraf corrigeren of extra isolatie aanbrengen is omslachtig en kost een veelvoud.

Het energiebesparend effect van de dikte van een isolatiepakket is vooral in de eerste centimeters erg groot. In Figuur 4.1 is te zien dat de energiebesparing relatief gezien steeds geringer wordt bij toenemende isolatiedikte. Op een bepaald punt wegen de kosten echter niet meer op tegen de baten van energiebesparing en is het niet efficiënt om nog meer in isolatiemateriaal te investeren. Dit punt ligt meestal rond de hierboven genoemde waarden. Daarbij moet echter rekening worden gehouden met het feit dat daken en vloeren veel goedkoper te isoleren zijn dan gevels. Bij woningen met een relatief groot dak en vloeroppervlak ligt de maximaal haalbare isolatieweerstand dan ook hoger. Mogelijk kan het optimum door daling van de kosten van isolatie verschuiven richting hogere R<sub>c</sub> waarden.



Figuur 3.2 Geschematiseerde invloed van isolatiedikte op energiekosten en totale kosten

Naast isolatie moet aandacht worden besteed aan het glasoppervlak. Aangeraden wordt om HR++ glas toe te passen. Naden en kieren kunnen ook zorgen voor veel warmteverlies. Dit is te beperken door een goede aansluiting van de onderlinge isolatieplaten, vermijden van kieren bij deuren en ramen. Om condensatie en mogelijke schimmelvorming tegen te gaan is voldoende ventilatie essentieel. Door gebruik te maken van een HR warmteterugwinunit kan 95% van de warmte in een gebouw blijven. Met dit pakket van warmtevraag beperkende maatregelen is bij nieuwbouwwoningen een energieprestatie coëfficiënt van 0,8 haalbaar. Dit betekent een energiebesparing van 20% ten opzichte van wat wettelijk voorgeschreven is (Novem, 2000).

### 3.2.2 Utiliteitsbouw

In de utiliteitsbouw moet er onderscheid gemaakt worden tussen kantoorgebouwen, productiebedrijven en voorzieningen.



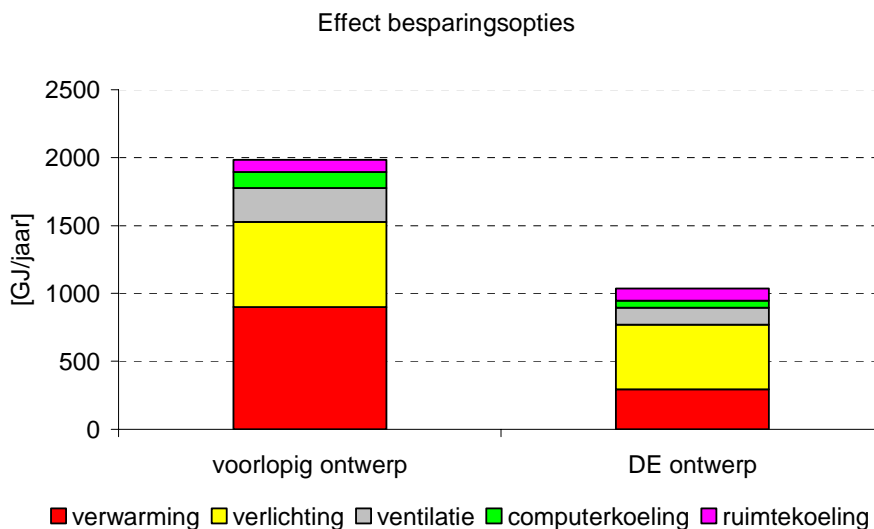
### Kantoren en bedrijfsgebouwen

Voor kantoorgebouwen is goede isolatie belangrijk om warmte- en koudevraag tegen te gaan. Naast isolatie is de oriëntatie van het gebouw erg belangrijk. Bij een oost-west oriëntatie kan door de lage zonstand 's ochtends aan de oostkant een koelvraag optreden, terwijl aan de westkant een warmtevraag aanwezig is. Door een noord-zuid oriëntatie wordt de lage zonnestand vermeden en kan de zon aan de zuidkant beter worden geweerd door middel van zonwering.

Voor productiebedrijven is een goede isolatie van het gebouw niet rendabel. De kosten van isolatie zijn door de grote gebouwvolumes groot, en de aanwezige machines gebruiken vaak de meeste energie.

Bij bedrijfsgebouwen is het energievraagpatroon wezenlijk verschillend van dat van woningen; bij bedrijfsgebouwen speelt naast ruimteverwarming, koeling een belangrijke rol. Bij kantoren is directe zoninstraling van minder belang omdat het stookseizoen bij kantoren korter is en eerder oververhitting optreedt. Wel is de toetreding van (diffuus) zonlicht van belang vanwege het hoge energiegebruik voor kunstverlichting. Slanke gebouwen met een korte afstand van werkplek tot gevel hebben een gunstig energiegebruik voor kunstverlichting en ventilatie. In een wijk met kantoor- en woninghoogbouw is een meer noordelijke positie van de kantoorhoogbouw ten opzichte van woninghoogbouw optimaal. Indien wordt gekozen voor kantoorhoogbouw is een meer noordelijke positie ten opzichte van de IJ-oever gunstiger. Dit in verband met de luwte ten opzichte van de windaanval over het IJ in combinatie met hoge windsnelheden aan de voet van hoge gebouwen.

Voor kantoorgebouwen is het energiegebruik ongeveer verdeeld zoals in Figuur 3.3. Het absolute energiegebruik voor de verschillende functies is sterk afhankelijk van het type gebouw en het soort werkzaamheden. In kantoorgebouwen zijn ruimteverwarming en verlichting de grootste energiegebruikers. Door verregaande bouwkundige en installatietechnische aanpassingen is het mogelijk om een energiebesparing van ca. 30% voor kantoorgebouwen te realiseren.



Figuur 3.3 *Energiegebruik van een kantoorgebouw*

Bij het ontwerp van gebouwen of wijken zijn de onderstaande aspecten aan te bevelen:

- Niet te diepe gebouwen in verband met veranderende vraag naar verhouding kunstlicht/ daglicht.
- Opbouwend in hoogte van zuid naar noord in verband met zonnewarmte en uitzicht.
- Wanneer een gebouw zowel kantoorruimtes als woningen bevat, situeer dan de woningen boven de kantoren. Hierdoor ontvangen woningen meer warmte van de zon en de onderliggende kantoren.

- Zorg voor zoveel mogelijk groen op straat in dichtbebouwde gebieden. Zo mogelijk ook vegetatie op verticale vlakken en daken. Naast een aantrekkelijke groene omgeving zorgt vegetatie ervoor dat in natte periodes regenwater opgenomen wordt en dat in de zomer meer schaduw en verdamping aanwezig is. Beplanting voorkomt het ontstaan van overmatige warmtestraling van steenachtige oppervlakken op warme dagen. Vanwege de dichte bebouwing moet aandacht worden besteed aan het grondwaterniveau, zodat de vegetatie voldoende water kan opnemen.
- Geluidsbelaste locaties vlakbij industrieterreinen zijn eerder geschikt voor kantoren dan voor woningen vanwege het maximaal toelaatbaar geluidsniveau voor woningbouw (50 dB) en manier van ventileren.

Bij bedrijfsverzamelgebouwen zijn de individuele huurders of eigenaars niet onderworpen aan wettelijke controle van het energiegebruik omdat zij elk onder de in de milieuwet geldende drempelwaarde voor het energiegebruik zitten. Door in grondcontract en in tweede instantie in het huur of verkoopcontract clausules op te nemen over het energiegebruik (kettingbeding) kunnen ook tijdens het gebruik van deze gebouwen eisen worden gesteld door de gemeente met betrekking tot rapportage van het energiegebruik en het toepassen van besparende maatregelen.

De ICT verdient een aparte vermelding in deze paragraaf. In het Cornelis Douwes gebied bijvoorbeeld wordt volgens het masterplan 30% van de ruimte door ICT-achtige bedrijvigheid in beslag genomen. Deze bedrijven zullen over het algemeen een kantoorachtige aanblik hebben. De aansluitwaarde voor het elektriciteitsnet zal daarentegen ver boven het gemiddelde liggen vanwege de hoge dichtheid van computerapparatuur. Wellicht kan voor dit grote vermogen gebruik worden gemaakt van de bestaande zware elektrische infrastructuur die voor de vroegere industrie ter plaatse werd aangebracht. Echter, dit grote vermogen zal het behalen van de doelstellingen met betrekking tot CO<sub>2</sub>-uitstoot reductie ernstig in gevaar kunnen brengen. Het is aan te bevelen deze bedrijven te verzamelen in bedrijfsverzamelgebouwen die als één inrichting kunnen worden beschouwd in het kader van de milieuwetgeving. Op deze wijze is het mogelijk om eisen te stellen aan energie-efficiënte bedrijfsvoering. Deze aanpak zal in enige vorm tot uiting moeten komen in de huur- of koopcontracten. De stroomvoorziening en conditionering van deze gebouwen kan vervolgens op efficiënte wijze geschieden waardoor een besparing mogelijk is van meer dan 30% (Kester et al., 2001 en Sijpheer en Ligthart, 2002).

Op veel bedrijventerreinen is in een of andere vorm een bedrijvenvereniging aanwezig. Iedere nieuwe vestiging wordt verplicht lid van deze vereniging. De gemeente kan een belang nemen in zo'n vereniging en via die rechtspersoon parkmanagement taken delegeren op het gebied van energie en milieu. Een gemeente zal bijvoorbeeld geen windpark exploiteren of een warmtenet. Het parkmanagement zou dat wel kunnen. Ook energie-efficiënte voorzieningen voor ICT-bedrijven kunnen door het parkmanagement ter hand worden genomen.

### *Voorzieningen*

Het type gebouw en het gebruik van gebouwen is bij voorzieningen zeer verschillend en de mogelijkheden om de energievraag te beperken zijn dat ook. Hieronder een overzicht voor verschillende voorzieningen.

- *Winkels*

Bij winkels overtreft de elektriciteitsvraag vaak de warmtevraag (beide uitgedrukt in aardgasequivalenten). Daglicht is in winkels meestal minder gewenst. Met de keuze van het kunstlicht wordt de juiste sfeer geschapen. Efficiënte verlichting en koeling is daarom in deze branche een belangrijk onderwerp van energiebesparing. Met warmtegorijnen en koelunits wordt het gewenste comfort gecreëerd.

- *Horeca*

Bij de horeca is de ventilatie vaak niet optimaal en wordt door airconditioners geprobeerd het binnenklimaat acceptabel te houden. Een goed ventilatiesysteem (met warmteterugwinning voor

de winterperiode) is energiezuiniger en zorgt voor een beter binnenklimaat. Bij gebrek aan inbouwruimte is een combinatie van natuurlijke ventilatie en afzuigventilatie met warmtepomp-boiler een goed alternatief.

De belangrijkste energiebesparende maatregelen zijn:  
verbetering van de verlichtingsarmaturen en aanwezigheidsschakelingen, warmteterugwinning bij afwasmachines en afzuigkappen, spaardouchekoppen/kranen, automatisering van verwarming, ventilatie, koeling en verlichting.

- *Scholen*

De belangrijkste energiegebruiken in scholen zijn verwarmingsenergie en verlichtingsenergie. De isolatiegraad van de meeste scholen is slecht te noemen. De toepassing van dubbel glas ligt rond de 20% en van overige isolatie rond de 50%. Hoogrendement armaturen zijn nog geen gemeengoed (ongeveer 50%) en hoewel de meeste scholen een goede daglichttoetreding hebben wordt het daglichtafhankelijk sturen van de verlichting nog weinig toegepast.

- *Zorginstellingen*

In de afgelopen jaren zijn in de zorg vele bezuinigingsacties uitgevoerd. Het efficiënt inzetten van gebouwen en bedden was hier een onderdeel van. De isolatiegraad van de gebouwen is meestal redelijk. Vanwege de hoge luchtverversingsgraad in ziekenhuizen is warmteterugwinning uit de ventilatielucht een belangrijk besparingsitem. Verdere aandachtspunten voor energiebesparing zijn: de grootkeuken, de wasserij en het koelen van onder andere operatiekamers.

- *Sportaccommodaties*

In de plannen voor het CAN-gebied is een nieuw sportcentrum en zwembad opgenomen. De combinatie van deze twee bedrijven biedt extra mogelijkheden voor energiebesparing. De koelmachine van de sportafdelingen kan worden gebruikt als warmtepomp voor het zwembad. Verder is daglichtbenutting in sporthallen en zwembaden een belangrijke besparingspost. Hierbij moeten zodanige bouwkundige constructies worden gekozen dat de warmte van de zon buiten wordt gesloten.

### 3.3 Verlagen CO<sub>2</sub>-inhoud energiedragers

#### 3.3.1 Lange termijn (2030)

Het verlagen van de CO<sub>2</sub>-inhoud van energiedragers is op lange termijn mogelijk door de inzet van hernieuwbare of 'klimaatneutrale' energiedragers. Hernieuwbare energiedragers worden geproduceerd met behulp van duurzame bronnen: wind, zon en biomassa. Klimaatneutrale energiedragers worden geproduceerd uit fossiele brandstoffen, zoals aardgas of eventueel kolen. De bij de productie van klimaatneutrale energiedragers vrijkomende CO<sub>2</sub> wordt afgevangen en duurzaam opgeslagen in de bodem. In een aantal gevallen, zoals bijvoorbeeld voor waterstof (H<sub>2</sub>) en elektriciteit, is dezelfde energiedrager ook hernieuwbaar te produceren.

Naast de nu reeds bekende energiedragers gas, elektriciteit en warmte zijn er in 2030 wellicht nieuwe energiedragers beschikbaar: waterstof, synthese gas en synthetisch aardgas. Al deze energiedragers kunnen als hernieuwbare of als klimaatneutrale energiedragers geproduceerd worden.

Figuur 3.4 geeft een overzicht van de verschillende mogelijkheden om hernieuwbare en klimaatneutrale energiedragers te produceren. De productie van klimaatneutrale energiedragers vindt plaats op centraal niveau. De noodzaak tot CO<sub>2</sub>-afvang maakt dat dit niet op lokaal, dat wil zeggen op woning- of wijkniveau, kan worden toegepast. Hernieuwbare opties kunnen zowel centraal als ook op lokaal niveau worden opgewekt.

## Centrale productie

<p><b>Elektriciteit:</b> conv. centrales met CO<sub>2</sub>-afvang, nucleair, import grijze stroom</p> <p><b>H<sub>2</sub>:</b> productie uit fossiel met CO<sub>2</sub>-afvang, nucleair</p> <p><b>Warmte:</b> restwarmte E-centrales en industrie met CO<sub>2</sub> afvang</p> <p><b>Synthesegas:</b> -</p> <p><b>SNG:</b> biomassa en klimaatneutrale H<sub>2</sub></p>	<p><b>Elektriciteit:</b> windparken, biomassacentrales, waterkracht, import groene stroom, PV-parken</p> <p><b>H<sub>2</sub>:</b> productie uit windparken, pv, waterkracht, biomassa, import groene stroom</p> <p><b>Warmte:</b> productie uit hernieuwbaar (biomassa)</p> <p><b>Synthesegas:</b> biomassavergassing</p> <p><b>SNG:</b> biomassa en hernieuwbare H<sub>2</sub></p>
<p><b>Klimaatneutraal</b></p>	<p><b>Hernieuwbaar</b></p> <p><b>Warmte:</b> zonneboilers, biomassa</p> <p><b>H<sub>2</sub>:</b> elektrolyse</p> <p><b>Elektriciteit:</b> PV-systemen, windmolens, biomassa WKK</p> <p><b>Synthesegas:</b> -</p> <p><b>SNG:</b> -</p>

## Lokale productie

(wijk- & gebouwniveau)

Figuur 3.4 *Schematische weergave van de relatie tussen de productiewijze van energieneutrale energiedragers en de ruimtelijke dimensie.*

In Bijlage A worden de mogelijkheden voor productie, distributie en energieconversie beschreven van de verschillende energiedragers: elektriciteit, waterstof (H<sub>2</sub>), warmte, synthesegas en SNG.

Het onderscheid tussen klimaatneutrale en hernieuwbare energiedragers is dat bij de productie van klimaatneutrale energiedragers wel de – in principe eindige – voorraden fossiele brandstoffen worden gebruikt, terwijl hernieuwbare energiebronnen niet afhankelijk zijn van deze energievoorraden. Tevens wordt bij de inzet van klimaatneutrale energiedragers doorgaans wel CO<sub>2</sub> geproduceerd dat (vrijwel geheel) wordt afgevangen en opgeslagen, terwijl bij hernieuwbare bronnen geen CO<sub>2</sub> wordt geproduceerd. Indien zowel in de warmte als elektriciteitsvraag wordt voorzien met hernieuwbare of klimaatneutrale energiedragers is de potentiële CO<sub>2</sub>-reductie in de gebouwde omgeving meer dan 90%.

### Onzekerheden

De afvang en opslag van CO<sub>2</sub> speelt een cruciale rol bij de productie van klimaatneutrale energiedragers. Dit is echter een techniek waarvan de werking in Nederland nog niet is aangetoond. Alhoewel er in het buitenland recentelijk beperkte ervaring is opgedaan met het injecteren van CO<sub>2</sub> in gasvelden, zijn in Nederland tot dusverre geen praktijkproeven gedaan. Ook is er nog geen zicht op de effecten noch van de kosten van lange termijn opslag van CO<sub>2</sub> in de bodem. Het betreft hier derhalve een essentiële, veelbelovende doch (nog) niet bewezen technologie, zodat rekening gehouden zal moeten worden met de mogelijkheid dat het in Nederland niet mogelijk blijkt te zijn om CO<sub>2</sub> voor een voldoende lange periode op te slaan. De afgevangen CO<sub>2</sub> kan worden geïnjecteerd in een aquifer, in een leeg aardgasveld of mogelijk in een kolenlaag. Rond 2010 zou op basis van experimenten duidelijk moeten zijn of, onder welke condities en tegen welke kosten CO<sub>2</sub>-afvang en langdurige opslag mogelijk is.

Ook rond de rol van de nieuwe energiedragers zijn er onzekerheden. De toepassing van waterstof is afhankelijk van het succes van de brandstofcel. Waterstof is lastig te produceren en waterstof is een zeer hoogwaardige energiedrager. Daarom zal waterstof nooit gebruikt gaan worden voor alleen het maken van laagwaardige warmte, maar altijd als brandstof voor een brand-

stofcel die elektriciteit en daarbij een beetje warmte produceert. Momenteel worden in Nederland de eerste experimenten uitgevoerd met brandstofcellen<sup>3</sup> voor de verwarming van een woning.

Distributie van waterstofgas kan waarschijnlijk alleen plaatsvinden in een specifiek hiervoor ontworpen leidingstelsel. Waterstof kan wel tot een beperkt percentage worden bijgemengd in het huidige aardgasnet. Het aardgasnet is niet geschikt om hogere percentages waterstof te transporteren omdat waterstof een licht gas is met een geringe energiedichtheid. De bestaande leidingen zouden daarvoor niet lekdicht en qua doorsnede niet groot genoeg zijn. Het gebruik van synthese gas vereist zowel aanpassingen aan het aardgasnet als aanpassingen aan gasgestookte apparaten, zoals verwarmingsketels en fornuizen. Het voordeel van synthetisch aardgas is dat deze aanpassingen niet nodig zijn.

Zowel synthese gas en synthetisch aardgas worden geproduceerd uit biomassa. In toekomstbeelden voor de lange termijn spelen er verschillende mogelijkheden voor de inzet van biomassa een rol. Ten eerste als brandstof voor elektriciteitsopwekking (bijstook in kolencentrales) of WKK. Ten tweede als vervanging van olie als grondstof voor motorbrandstoffen bij de productie van 'biobrandstoffen'. Ten derde als vervanging van olieproducten die in de chemische industrie als grondstof worden gebruikt ('biofeedstocks'). Het is zeer de vraag of voor alle mogelijkheden voldoende biomassa beschikbaar is. De beschikbaarheid van biomassa zou een belemmering kunnen vormen voor de toepassing van synthese gas en synthetisch aardgas.

#### *Specifieke kansen Amsterdam-Noord*

Specifieke kansen voor Amsterdam, die op andere locaties doorgaans in mindere mate aanwezig zijn, zijn gelegen in het feit dat er reeds een groot warmtenet aanwezig is dat wordt gevoed via een AVI en warmte aftap uit een grote elektriciteitscentrale. Dit maakt de optie 'warmte' relatief aantrekkelijk omdat restwarmte beschikbaar is die over een relatief geringe afstand hoeft te worden getransporteerd.

Een tweede onderscheidend effect in Amsterdam-Noord is de nabijheid van een grote haven in combinatie met een industrieterrein. Dit maakt dat met name aanvoer en verwerking van biomassa in Amsterdam relatief eenvoudig in vergelijking tot locaties die niet beschikken over een haven met bijbehorend industrieterrein.

Niet duidelijk is in hoeverre Amsterdam gunstig is gelegen ten aanzien van mogelijke lange termijn CO<sub>2</sub>-opvang faciliteiten. Momenteel in het kader van het CRUST project in kaart gebracht welke locaties in Nederland hiervoor in beginsel geschikt zouden kunnen zijn (Novem, 2002). Voor CO<sub>2</sub>-arme elektriciteit geldt dat de productie hiervan niet specifiek aan de regio Amsterdam gekoppeld hoeft te zijn.

#### 3.3.2 Korte termijn (2010)

Op korte termijn beperken de alternatieven voor een aardgasnet zich tot een warmtenet of het all-electric-scenario. Verder zijn er op korte termijn mogelijkheden om de CO<sub>2</sub>-inhoud van energiedragers te verlagen door lokale duurzame energieproductie.

#### *Warmtenet*

Met een warmtenet wordt collectief via leidingen warm water toegevoerd aan de woningen en bedrijven voor ruimteverwarming en/of warm tapwater. De warmte kan geleverd worden door dichtbij gelegen industrie, elektriciteitscentrale of AVI, of door een collectieve WKK-installatie in de wijk.

---

<sup>3</sup> Hierbij wordt aardgas als brandstof gebruikt die via een reformer wordt omgezet in H<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub>.

Een warmtenet heeft de volgende voordelen:

- Restwarmte van dichtbij gelegen industrie (bijvoorbeeld Akzo) levert de grootste CO<sub>2</sub>-reductie op (tot 80%). Ook het aftappen van warmte uit energiecentrales (Westpoort Warmte) levert een aanzienlijke CO<sub>2</sub>-reductie op (mogelijk 50%).
- Het installeren van een eigen warmtekrachtkoppeling in de wijk en benutting van de warmte ervan kan gunstig zijn bij een grote elektriciteitsvraag (bijvoorbeeld bij aanwezigheid van grote ICT-bedrijven). De energiebesparing bij warmtelevering vanuit een collectieve warmtekrachtinstallatie is ca. 14% (Menkveld en Ruijg, 2000).
- Het ontbreken van een verwarmingstoestel in een woning heeft de voordelen dat het veiliger is, eenvoudiger onderhoud mogelijk is en dat het ruimtebesparing oplevert.

Een warmtenet heeft de volgende nadelen:

- Bij de toepassing van een warmtenet moet rekening gehouden worden met ruimtegebruik door leidingtracés, hulpwarmteketels, etc. Het leidingtracé, exclusief onderstations waarin vaak warmtewisselaars, pompen en expansievaten zijn ondergebracht, is, in orde van grootte, 2 meter breed. Dit is strijdig met de uitgangspunten van flexibel en intensief ruimtegebruik. Hier moet een afweging worden gemaakt.
- De investeringen in het distributienet zijn over het algemeen hoog.
- In het teken van steeds verdere liberalisering op energiegebied is het gebruik van een warmtenet een starre energievoorziening. Toekomstige bewoners kunnen moeilijk een andere energieleverancier kiezen.
- Wanneer een warmtenet wordt aangebracht, zal er vaak geen gasaansluiting in de woning aanwezig zijn. Bewoners zullen hierdoor vooral elektrisch moeten koken.

Door de aanleg van een warmtenet kan CO<sub>2</sub> worden bespaard. Afhankelijk van de situatie kan dat 20% zijn maar ook 50% of nog hoger. Het warmtenet van Westpoort Warmte is vergelijkbaar met het toekomstige Meerwarmte in Alkmaar (beide afvalverwerkingscentrales). Van de laatste is uitgerekend dat de CO<sub>2</sub>-besparing rond de 50% ligt. Dit is dus een belangrijke mogelijkheid voor het besparen van grote hoeveelheden CO<sub>2</sub>.

De hoge bebouwingsdichtheid in Amsterdam-Noord is gunstig vanwege lage leidingverliezen. Bij systemen, waar grondleidingen worden gebruikt, kunnen de verliezen oplopen tot 30% van de totale warmteproductie. Optimale isolatie van de leidingen en een goede benuttingsgraad van het warmtenet zijn hierdoor belangrijke parameters. Met name het gebruik van warm tapwater in de woningbouw geeft een goede benuttingsgraad doordat het gehele jaar behoefte is aan warm tapwater. Het aandeel warm tapwater stijgt ten opzichte van ruimteverwarming door de steeds beter geïsoleerde woningen en het toenemende verbruik van warm tapwater.

Er moet aan een reeks van voorwaarden worden voldaan om deze optie te realiseren. Er moet onder andere in de wijk grond beschikbaar zijn om leidingen en onderstations aan te leggen. De gebieden van de Noordelijke IJ-oever worden voor een groot deel heringedeeld. Deze situatie schept kansen voor de implementatie van een warmtenet. De grond is voor een groot deel eigendom van de gemeente. Grondbeslag door leidingen en onderstations is dus nog te reserveren. In de grondcontracten kunnen voorwaarden worden opgenomen die het gebruik van het warmtenet belangrijk kunnen ondersteunen. Voor nieuwe gebouwen kan de milieuwetgeving als onderdeel van de bouwvergunning worden gebruikt om de benutting van het warmtenet te stimuleren.

Een belangrijke instrument van de gemeente bij het bevorderen van de bouw van een warmtenet is de energieprestatienorm (EPN). Het is van belang om de energieprestatienorm voor gebieden waarin gebruik kan worden gemaakt van het warmtenet 10% scherper te stellen (als voorwaarde op te nemen in het grondcontract of de milieuvergunning). Hierdoor wordt bereikt dat de energiekosten van het gebouw en de investeringskosten voor energiebesparende maatregelen op het-

zelfde niveau komen als bij vergelijkbare gebouwen zonder warmtenet. Met andere woorden: de energetische kwaliteit van het gebouw zal in beide gevallen ongeveer hetzelfde zijn.

Door de gemiddelde gastarieven te volgen kan ook bij toepassing van een warmtenet een marktconforme prijsvorming worden bereikt. Een rekenmethode voor de warmtetarieven die ook wel wordt aangeduid als het Niet Meer Dan Anders principe kan een goede basis vormen voor onderhandelingen hierover. Het is echter van groot belang bij deze onderhandelingen voldoende expertise aan tafel te hebben op het gebied van gemeentelijk beleid, tarieven, energietechniek en juridische zaken.

### *All-electric-scenario*

Voor ruimteverwarming kan ook gebruik gemaakt worden van elektrische weerstandsverwarming of een elektrische warmtepomp. Elektrische weerstandsverwarming als hoofdverwarming moet zo min mogelijk worden toegepast, het rendement van de elektriciteitscentrale is namelijk relatief laag. Bij de opwekking van elektriciteit en bij transport gaat veel energie verloren. Van de oorspronkelijk opgewekte energie kan in de woning uiteindelijk gemiddeld zo'n 39% (op bovenwaarde) nuttig worden gebruikt. Voor incidentele toepassing biedt elektrisch (na)verwarmen wel zinvolle mogelijkheden.

Een elektrische warmtepomp wordt de laatste tijd steeds vaker toegepast in nieuwbouwwoningen. Het rendement wordt uitgedrukt in Coëfficiënt Of Performance (COP). De COP wordt in belangrijke mate beïnvloed door de temperatuur aan de warmteafgifte- en bronkant. De brontemperatuur mag niet te laag zijn, en voor het warmteafgifte-systeem is juist een lage temperatuur noodzakelijk. De warmtepomp moet naast ruimteverwarming ook voorzien in het verwarmen van tapwater van 65 °C. Vanwege een slechte COP bij hoge temperaturen wordt het tapwater vaak vanaf 55 °C met elektrische weerstandsverwarming naverwarmd.

De voordelen van een all-electric-scenario zijn:

- Een elektrische infrastructuur is relatief eenvoudig en flexibel.
- Sommige warmtepompen kunnen naast warmtelevering ook voorzien in koelvermogen. Dit is in de zomer wanneer oververhitting optreedt aantrekkelijk voor kantoorruimtes. Het stookseizoen is in kantoorruimtes daarentegen lager, hetgeen ongunstiger is voor gebruik van een warmtepomp.

De nadelen van een all-electric-scenario zijn:

- Koken en verwarmen van tapwater zal ook elektrisch gedaan moet worden.
- Wanneer gebruik wordt gemaakt van 'grijze' stroom uit de energiecentrale is voor een elektrische warmtepomp een COP van minimaal drie vereist om nog primaire energie te kunnen besparen vanwege het lage centrale rendement (39%).
- Vloer- of wandverwarming én een geschikte bron voor de warmtepomp zijn in bestaande woning- of utiliteitsbouw lastig te realiseren, waardoor de warmtepomp in het algemeen toegepast wordt in nieuwbouw.
- In woningbouw is de warmtepomp nog altijd niet rendabel, vooral door de hoge investeringskosten ten opzichte van de reguliere verwarmingsopties (cv-ketel). Een totaal warmtepompsysteem incl. bronsysteem voor de woningbouw komt neer op €5000,- tot €7000,- ([www.duurzame-energie.nl](http://www.duurzame-energie.nl))
- Per eenheid warmte is elektriciteit 2 à 2,5 keer zo duur als aardgas.
- Een individuele warmtepomp neemt meer ruimte in beslag dan een standaard cv-ketel.

Het gemiddelde rendement van de elektriciteitsopwekking is sinds de invoering van de liberalisatie niet verhoogd. Daardoor is de drempel, waarbij de warmtepomp het qua CO<sub>2</sub>-uitstoot wint van de HR-ketel nog steeds hoog. Met andere woorden: de warmtepomp moet een hoge COP hebben om een lagere CO<sub>2</sub>-uitstoot te hebben dan de ketel. De balans slaat op dit moment vaak

door ten gunste van de HR-ketel terwijl de kosten voor aanschaf en energiekosten van het warmtepompsysteem veel hoger zijn dan van een ketelinstallatie.

Het gebruik van een warmtepomp in combinatie met een bodemwarmtewisselaar voor de bereiding van warmtapwater is met het oog op de CO<sub>2</sub>-uitstoot af te raden.

Warmteonttrekking aan de bovenste grondlagen door middel van slangen die in de grond worden gedrukt vormt meestal de bron voor de warmtepomp. De diepte tot waar dit kan gebeuren is beperkt en daarom ook de capaciteit per kavel. Bij warmteonttrekking uit zogenaamde aquifers (ondergrondse waterhoudende lagen) wordt de eis gesteld dat het systeem thermisch in balans moet zijn. Dat wil zeggen dat de koude- en de warmteonttrekking in zomer en winter per saldo nul moet zijn. Aangezien woningen geen of slechts een geringe koudevraag hebben komt dit systeem niet in aanmerking voor woonwijken. De ventilatielucht als warmtebron is alleen mogelijk als de woning geen warmteterugwinning heeft. Warmteterugwinning door een warmtewisselaar is energetisch te prefereren boven het gebruik van een warmtepomp voor dit doel.

De hoge bebouwingsdichtheid in het stadsdeel Amsterdam-Noord zou een belemmering kunnen zijn om op verschillende plekken dicht bij elkaar warmte aan de bodem te onttrekken.

In het stadsdeel Amsterdam-Noord zou als warmtebron ook het oppervlaktewater uit het IJ gebruik kunnen worden. Bij de Passenger Terminal Amsterdam is dat ook op die manier uitgevoerd. Een nadeel van het gebruik van oppervlakte water is dat de watertemperatuur laag is in de winter op het moment dat de warmtepomp voor ruimteverwarming wordt gebruikt. In de bodem blijft de temperatuur in de winter hoger dan in het oppervlakte water. Als water uit het IJ ook nog getransporteerd moet worden, koelt het verder af. Waarschijnlijk is het gebruik van water uit het IJ als bron voor een warmtepomp alleen een optie voor één enkel groot gebouw (of gebouwcomplex) dat direct aan het IJ gelegen is.

#### *Lokale duurzame energieproductie*

Voor grote delen van de IJ-oever zal wellicht het bestemmingsplan voor de nieuwe indeling worden aangepast. In het nieuwe bestemmingsplan kunnen voorwaarden worden geschapen voor het bouwen van windturbines met betrekking tot hoogten en geluidszones. Grondeigendom schept kansen voor het oprichten van een windenergievereniging samen met nieuwe eigenaren. Deze vereniging kan onderdeel zijn van een bedrijvenvereniging ('Noordelijke IJ-oever') waarvan men verplicht lid wordt bij de eigendomsoverdracht. Het voordeel van zo'n vereniging is dat de winsten van het windmolenpark rechtstreeks ten goede komen aan degenen die de turbines in hun direct omgeving moeten gedogen. Het is gebleken dat met winstdeling het Not In My Backyard (NIMBY) effect kan worden voorkomen.

Biomassa kan gebruikt worden voor elektriciteitsopwekking, bij voorkeur in grote centrales buiten de gebouwde omgeving in verband met het transport van de grote hoeveelheden biomassa en afvang van emissies (andere dan CO<sub>2</sub>). Tevens kan de restwarmte van die centrales worden benut. Er is eigenlijk pas sprake van lokale duurzame energieproductie als het om een meer kleinschalige WKK gaat die gebruik maakt van biomassa die als reststroom lokaal beschikbaar is of lokaal wordt geteeld.

Het gebruik van zonne-energie voor elektriciteitsopwekking via PV moet op zeer grote schaal worden toegepast om CO<sub>2</sub>-reductie van enige omvang te realiseren en is dan zeer kostbaar. Het gebruik van zonne-energie voor de productie van warm tapwater (zonneboilers) moet gezien worden als een reëel optie voor het beperken van de energievraag in de woningbouw en specifieke sectoren in de utiliteitsbouw (zwembaden, zorginstellingen). Een zonneboiler kan (vanwege het Nederlandse klimaat) nooit meer dan de helft van de warm tapwater vraag voorzien. Wanneer een wijk is aangesloten op een warmtenet i.p.v. het conventionele aardgasnet is de toepassing van zonneboilers niet zinvol. De warmteproductie van de zonneboiler gaat dan ten



kost van de benutting van het warmtenet, hetgeen slecht is voor de exploitatie van dat warmtenet en ook weinig additionele CO<sub>2</sub>-reductie zal opleveren.

### 3.3.3 Keuzevrijheid versus stuurbaarheid

De aan woningen en bedrijven toe te rekenen CO<sub>2</sub>-uitstoot bestaat uit de zogeheten 'directe emissies'. Dit is de CO<sub>2</sub>-emissie die vrijkomt door de verbranding van aardgas. 'Indirecte emissies', zoals bijvoorbeeld de emissies die toe te rekenen is aan verbruik van elektriciteit worden doorgaans toegerekend aan de energiesector (Milieubalans, 2002). Dit is de CO<sub>2</sub>-emissie die vrijkomt in centrales bij de productie van elektriciteit uit fossiele brandstoffen. In principe is het mogelijk om een vergaande reductie van de CO<sub>2</sub>-emissies in de gebouwde omgeving te bereiken door substitutie van aardgas door nieuwe CO<sub>2</sub>-arme energiedragers. Hierdoor treedt een verschuiving op van directe emissies naar indirecte emissies. Dat heeft belangrijke consequenties voor de stuurbaarheid van emissiereductie, waarover verderop in deze paragraaf meer.

Voor een aantal van deze energiedragers zijn aanpassingen aan de huidige infrastructuur nodig ('all-electric') of is de aanleg van een nieuwe infrastructuur noodzakelijk (warmte, waterstof). Verwacht mag worden dat dit consequenties heeft voor de keuzevrijheid van de eindverbruiker met betrekking tot de mogelijkheden om te kunnen kiezen uit verschillende aanbieders van energie.

Bij aanleg van bijvoorbeeld een warmtenet of waterstofnet zal de eindverbruiker waarschijnlijk verplicht zijn om zijn warmte dan wel waterstof bij één energieleverancier af te nemen. Dit kan leiden tot hogere lasten voor de eindverbruiker, omdat er geen sprake is van concurrentie. Tevens ontbreekt voor warmte (en ook voor waterstof) bijvoorbeeld wetgeving die de eindverbruiker moet beschermen tegen ongewenste prijseffecten die in deze monopolie situatie kunnen ontstaan. Een tegenovergesteld effect treedt op indien de nieuwe energiedragers over de bestaande infrastructuur kunnen worden gedistribueerd (synthetisch aardgas, elektriciteit). In dit geval neemt de keuzevrijheid voor de eindverbruiker toe. Naast conventionele energiedragers kan nu ook voor alternatieve energiedragers worden gekozen.

De keuzevrijheid van de consument heeft echter grote consequenties met betrekking tot de garanties dat de beoogde CO<sub>2</sub>-reductie ook daadwerkelijk kan worden gerealiseerd. Immers, indien de consument zelf kan kiezen bij welk distributiebedrijf bijvoorbeeld elektriciteit wordt afgenomen, dan kan staat het de eindverbruiker vrij om voor elektriciteit met een hele lage CO<sub>2</sub>-inhoud te kiezen (hernieuwbare of klimaatneutrale elektriciteit) of elektriciteit met een hele hoge CO<sub>2</sub>-inhoud (bijvoorbeeld zeer aantrekkelijk geprijsde elektriciteit uit oude al afgeschreven kolencentrales). Een vrije keuze voor de consument maakt dat de feitelijke besparing niet stuurbaar is, maar bepaald wordt door de voorkeur van de consument. Deze voorkeur van de consument kan weliswaar beïnvloed worden door voorlichting of subsidies, maar in een vrije energiemarkt kan de consument niet gedwongen worden om een bepaalde 'kleur' elektriciteit af te nemen.

Het niet af kunnen dwingen van de CO<sub>2</sub>-inhoud van de energiedrager kan met name een rol spelen bij de 'all-electric' route. Het effect op de CO<sub>2</sub>-emissies van deze route is sterk afhankelijk van de CO<sub>2</sub>-inhoud van de elektriciteit waarmee de warmtepomp wordt aangedreven. Een tegengesteld effect doet zich voor indien de eindverbruiker gedwongen is zijn energie bij één bepaalde distributiemaatschappij af te nemen. In dit geval is doorgaans voor een tiental jaren redelijk nauwkeurig te bepalen wat de CO<sub>2</sub>-inhoud is van de afgenomen energiedrager, doordat normaalgesproken precies bekend is op welke wijze de energiedrager zal worden opgewekt (fossiel, hernieuwbaar, klimaatneutraal). Op de lange termijn is ook in dit geval de kwaliteit van de energiedrager niet te garanderen, dit omdat bij vervanging van de huidige installatie theoretisch ook gekozen kan worden voor een type installatie die dezelfde energiedrager produceert met een hogere CO<sub>2</sub>-inhoud.

Het huidige netwerk voor warmte in Amsterdam wordt nu gevoed via de AVI en de Diemencentrale. Deze installaties hebben een eindige levensduur en zullen naar verloop van tijd moeten worden vervangen. Op dat moment zal worden bekeken wat dan, voor de producent, de meest rendabele wijze is om de warmte op te wekken. Niet ondenkbaar is dat over 30 jaar er geen nieuwe AVI's meer worden gebouwd (er is minder afval of het wordt anders verwerkt) of dat de huidige locatie als minder geschikt wordt geacht. Tevens is niet uit te sluiten dat er op dat moment geen behoefte is aan extra productiecapaciteit, zodat ook op de plaats van de Diemencentrale geen nieuwe eenheid wordt gebouwd. Toch zal in de vraag naar warmte moeten worden voorzien. Hoe deze beslissing precies uit zal vallen is op dit moment moeilijk te voorspellen. De beslissing van de producent is afhankelijk van een aantal factoren, zoals energieprijzen voor verschillende brandstoffen en het toekomstige beleid (verhandelbare emissierechten, CO<sub>2</sub>-heffing). In een 'worst case' scenario zou mogelijk gekozen kunnen worden voor opwekking van warmte in gasgestookte ketels. Dit leidt echter tot een aanzienlijke verhoging van de CO<sub>2</sub>-inhoud van de warmte en, vanwege de distributieverliezen, tot een hogere CO<sub>2</sub>-emissie dan indien gekozen zou zijn voor de referentietechniek (individuele HR-ketels). Het is te bezien, zeker tegen een achtergrond van een liberale energiemarkt en een terugtrekkende overheid, of het mogelijk is om deze investeringsbeslissingen die in de verre toekomst genomen moeten worden door de warmteproductie te beïnvloeden.

### *Conclusie*

Bij substitutie van aardgas door centraal geproduceerde energiedragers ontstaat een spanningsveld tussen enerzijds het belang van de eindverbruiker (keuzevrijheid) en anderzijds het belang van de overheid (stuurbaarheid van daadwerkelijke realisatie van CO<sub>2</sub>-reductie).

## 4. VISIE OPTIMALE ENERGIE-INFRASTRUCTUUR

Doel van het onderzoek is een bijdrage te leveren aan het ontwikkelen van een visie op de optimale energie-infrastructuur voor het stadsdeel Amsterdam-Noord, rekening houdend met de nieuwe ruimtelijke ontwikkelingen, voor de korte (tot 2010) en lange termijn (tot 2030).

### 4.1 Eindbeeld vergelijken met het heden

Dat het stadsdeel Amsterdam-Noord gevraagd heeft naast een visie op de optimale energie-infrastructuur voor de korte termijn ook een visie te ontwikkelen voor de lange termijn is vooruitstrevend. Indien vanuit het heden wordt gedacht en we steeds kiezen voor de op dat moment goedkoopste oplossing met doorgaans een relatief beperkte levensduur. Zaken als energie-infrastructuur en isolatie van gebouwen hebben een lange levensduur, en aanpassing dan wel vroegtijdige vervanging is kostbaar. Met name deze, vaak op de korte termijn minder rendabele maatregelen kunnen cruciaal zijn bij het bereiken van een lange termijn doelstelling. Het is belangrijk om eerst na te denken over hoe de toekomstige energievoorziening eruit zou kunnen zien. Door dit eindbeeld te vergelijken met het heden, kan inzicht worden verkregen in benodigde veranderingen en komen wellicht knelpunten aan het licht die nu al moeten worden aangepakt.

Daarom is het van belang eerst na te denken over de lange termijn. Daarna kan een korte termijn visie (2010) worden geformuleerd die past binnen de lange termijn visie (2030).

### 4.2 Lange termijn (2030)

#### 4.2.1 Oplossingsrichtingen

Er zijn grofweg 2 verschillende mogelijkheden om de CO<sub>2</sub>-emissie die wordt toegerekend aan de energievraag in de gebouwde omgeving te beperken:

1. Het beperken van de energievraag
2. Het verlagen van de CO<sub>2</sub>-inhoud van energiedragers die in die energievraag voorzien

Dat geldt ook voor de korte termijn, maar op lange termijn zijn de mogelijkheden om de CO<sub>2</sub>-inhoud van energiedragers te verlagen veel groter. Reducties van meer dan 90% zijn mogelijk door de inzet van hernieuwbare en klimaatneutrale energiedragers. Hernieuwbare energiedragers zijn geproduceerd met behulp van duurzame bronnen: zon, wind, biomassa of waterkracht. Klimaatneutrale energiedragers worden geproduceerd uit fossiele brandstoffen, zoals aardgas. De bij de productie van klimaatneutrale energiedragers vrijkomende CO<sub>2</sub> wordt afgevangen en opgeslagen in de bodem.

#### 4.2.2 Conventionele en nieuwe energiedragers

Naast de nu reeds bekende energiedragers gas, elektriciteit en warmte zijn er in 2030 wellicht nieuwe energiedragers beschikbaar: waterstof, synthese gas en synthetisch aardgas. Met deze nieuwe energiedragers naast de conventionele energiedragers zijn er voor de lange termijn (2030) vier verschillende routes voor verregaande CO<sub>2</sub>-reductie met een *verschillende* energie-infrastructuur: een aardgasnet, een warmtenet, de all-electric route en een waterstofnet. (Synthese gas en synthetisch aardgas kunnen in de toekomst door het bestaande aardgasnet worden getransporteerd.)

Het is dus niet mogelijk om op dit moment voor één energie-infrastructuur te kiezen die alle mogelijkheden open houdt. Voorbereidingen op een bepaalde route zijn kostbaar. De meerinvesteringen moeten nu worden gedaan en het is niet zeker of in de toekomst daadwerkelijk van deze additionele functionaliteit gebruik gemaakt zal worden. Voorbereiding op een all-electric route voor de toekomst kan door een verzwaard elektriciteitsnet aan te leggen. Op de distributie van waterstof is geen voorbereiding mogelijk anders dan nu reeds een waterstofnet aan te leggen. Ook voor een warmtenet is het nu of nooit. Gezien de onzekerheden rond technologie (CO<sub>2</sub>-opslag en brandstofcel) strekt het echter niet tot de aanbevelingen om op dit moment te kiezen voor een waterstofnet.

Op dit moment is het nog niet duidelijk welke route de beste kansen heeft om daadwerkelijke realisatie in 2030. Er zijn onzekerheden rond technologieën als de brandstofcel, de elektrische warmtepomp en CO<sub>2</sub>-afvang en opslag. De onzekerheden betreffen zowel de technische haalbaarheid als de kosten en maatschappelijke acceptatie. Daarnaast zijn er onzekerheden rond de beschikbaarheid van biomassa. In Tabel 4.1 wordt een overzicht gegeven van de onzekerheden die samenhangen met de inzet van verschillende energiedragers voor warmtevoorziening.

Tabel 4.1 *Overzicht inzet verschillende energiedragers voor warmtevoorziening*

Energiedrager	Energie infrastructuur	Conversietechnologie voor omzetting energiedrager in warmte	Onzekerheden klimaatneutrale productie	Onzekerheden hernieuwbare productie
aardgas	aardgasnet	HR-ketel	n.v.t.	n.v.t.
warmte elektriciteit	warmtenet elektriciteitsnet ('all-electric')	geen elektrische warmtepomp	CO <sub>2</sub> -afvang en opslag CO <sub>2</sub> -afvang en opslag	n.v.t. geen
waterstof synthese gas	waterstofnet aardgasnet	brandstofcel HR-ketel met aangepaste brander	CO <sub>2</sub> -afvang en opslag n.v.t.	n.v.t. beschikbaarheid biomassa
synthetisch aardgas	aardgasnet	HR-ketel	CO <sub>2</sub> -afvang en opslag	beschikbaarheid biomassa

Alle energiedragers kunnen als hernieuwbare of als klimaatneutrale energiedragers geproduceerd worden. Welke keuze voor de energie-infrastructuur er op dit moment ook wordt gemaakt, via iedere 'route' kunnen op lange termijn verregaande CO<sub>2</sub>-reducties worden bereikt. In alle routes past beperking van de energievraag.

#### 4.2.3 Nog geen duidelijke keuze

De toekomstige introductie van nieuwe energiedragers maakt het in principe mogelijk om de CO<sub>2</sub>-emissies zeer sterk te verminderen (in theorie tot vrijwel nul). Van een aantal sleuteltechnologieën is nog niet bewezen of deze ook in de praktijk tegen aanvaardbare kosten toe te passen zijn. Hierdoor is het niet mogelijk om nu al te kiezen voor één van de mogelijke routes.

Van de mogelijke alternatieve routes is de all-electric route waarschijnlijk de meest robuuste, dit omdat er vele, deels bewezen, manieren zijn om elektriciteit te produceren met een lage CO<sub>2</sub>-inhoud. Cruciaal hierbij is echter of het mogelijk is om, rekening houdende met de specifieke condities voor Amsterdam-Noord, nu of in de toekomst tegen aanvaardbare kosten warmtepompen te introduceren. Een kleinschalig experiment zou hiervoor de noodzakelijke informatie kunnen opleveren. Het zou hierbij voor de hand liggen om eerst specifiek naar toepassing in kantoren te kijken omdat hier zowel een warmtevraag als koelvraag is.

#### 4.2.4 Elektriciteitsvoorziening

Naast de warmtevraag van gebouwen is er ook de elektriciteitsvraag van huishoudens en bedrijven. Die elektriciteitsvraag kan in de toekomst ook met klimaatneutrale of hernieuwbare elektriciteit worden voorzien via het huidige elektriciteitsnet, zonder consequenties voor de energie-infrastructuur dus.

### 4.3 Korte termijn (2010)

Op korte termijn beperkt de keuze qua energie-infrastructuur zich tot een aardgasnet, een warmtenet of de all-electric route.

#### 4.3.1 Warmtenet

Een energieleverancier wil een warmtenet aanleggen binnen de ring van Amsterdam. Het biedt kansen ook projecten in Amsterdam-Noord op dit warmtenet aan te sluiten. Er zijn sinds de liberalisering van de energiemarkt slechts weinig initiatieven voor nieuwe warmtedistributie projecten. Door de liberalisering van de energiemarkt worden de hoge investeringen die voor de realisatie van een warmtenet nodig zijn als te risicovol beoordeeld. Alleen daar waar een bestaand warmtenet kan worden uitgebreid zijn er nog marktontwikkelingen. Dat is ook in Amsterdam het geval. Realisatie van een warmtenet biedt op korte termijn de hoogste CO<sub>2</sub>-reductie (tussen de 20 en 50%). De plannen van de energieleverancier mogen dus als een unieke kans worden beschouwd.

Op de langere termijn, nadat de huidige centrales zijn afgeschreven is de CO<sub>2</sub>-reductie echter onzeker. Eenzelfde effect kan in principe optreden indien de gevraagde hoeveelheid warmte de capaciteit van de huidige centrales (AVI en Diemencentrale) overschrijdt. Het verdient aanbeveling om te onderzoeken of hierover concreet afspraken gemaakt kunnen worden. Het is echter de vraag of een energiedistributiebedrijf garanties zal willen geven met betrekking tot de CO<sub>2</sub>-inhoud van warmte op zeer lange termijn (na 2030).

#### 4.3.2 All-electric route

De CO<sub>2</sub>-reductie die bereikt kan worden via de all-electric route is afhankelijk van de wijze waarop de elektriciteit wordt opgewekt. Met het gemiddelde rendement van de elektriciteitsopwekking zal de all-electric route op dit moment weinig CO<sub>2</sub>-reductie opleveren. De all-electric route zou qua CO<sub>2</sub>-reductie wel erg goed (zelfs beter dan het warmtenet) scoren wanneer voor de voeding van de warmtepomp duurzame elektriciteit (groene stroom) wordt ingekocht. In een project met individuele warmtepompen (per woning of per bedrijf) kan dat in een vrije energiemarkt niet worden afgedwongen. Op lange termijn (2030) mag wel verwacht worden dat de CO<sub>2</sub>-inhoud van elektriciteit verlaagd zal worden door CO<sub>2</sub>-afvang en opslag of door hernieuwbare bronnen. De all-electric route is daarom op lange termijn wel aantrekkelijk. Voor de korte termijn is het van belang ervaring met de all-electric route op te doen.

De all-electric route bevindt zich nog in het stadium van marktintroductie. Elektrische warmtepompen zijn in woningbouwprojecten op verschillende plaatsen in Nederland toegepast met wisselend succes. De kosten van een warmtepomp zijn nog erg hoog, de technische haalbaarheid wordt met name bepaald door het creëren van een goede warmtebron voor de warmtepomp. Daartoe zijn er verschillende concepten (zie § 3.5). Hoewel toepassing van elektrische warmtepomp enige stimulans kan gebruiken, is het niet raadzaam als stadsdeel direct aan zeer grootschalige toepassing te beginnen. Het all-electric concept is gebaat bij een combinatie van warmte- en koelvraag. Voor toepassing van dit concept moet eerder aan kantorenlocaties dan aan woonwijken worden gedacht.

### 4.3.3 Dilemma: keuzevrijheid versus stuurbaarheid

Zowel de keuze voor de all-electric route als de keuze voor een warmtenet impliceert een verschuiving van directe naar indirecte CO<sub>2</sub>-emissies. De CO<sub>2</sub>-emissie vindt niet langer plaats in de gebouwde omgeving zelf, maar bij de elektriciteit- of warmteopwekking. In het geval van een warmtenet is sprake van een directe koppeling tussen de warmteafnemers en de plek waar de warmte wordt geproduceerd. Duidelijk is dan wat de CO<sub>2</sub>-emissie is die aan de energievraag in de gebouwde omgeving mag worden toegerekend. Een belangrijk nadeel van een warmtenet is dat de gebruikers ervan niet langer de keuze hebben hun eigen leverancier te kiezen in de vrije energiemarkt, omdat sprake is van één aanbieder. In de all-electric route behouden afnemers die keuzevrijheid wel, maar zijn daardoor de CO<sub>2</sub>-emissies niet stuurbaar. Omdat bij een keuze voor een warmtenet afnemers gebonden zijn aan een aanbieder is het belangrijk dat warmtetarieven marktconform zijn.

### 4.3.4 Beperken energievraag

Beperking van de energievraag zou op korte termijn een belangrijk aandachtspunt moeten zijn in het beleid van het stadsdeel Amsterdam-Noord gezien de grote herstructureringsopgave. Juist bij nieuwbouw kunnen keuzes worden gemaakt die voor de lange termijn de energievraag bepalen.

## 4.4 Beleidsaanbevelingen voor het stadsdeel

### 4.4.1 Warmtenet

De plannen voor een warmtenet binnen de ring bieden een unieke kans voor aanzienlijke CO<sub>2</sub>-reductie op korte termijn. Deze kans zou door het stadsdeel niet gemakkelijk terzijde geschoven mogen worden. Overleg op korte termijn met de desbetreffende energieleverancier over de volgende zaken:

1. Garanties omtrent CO<sub>2</sub>-inhoud van de geleverde warmte.
2. Welke nieuwbouwprojecten of delen van Amsterdam-Noord zou die energieleverancier graag willen aansluiten op het warmtenet en past dit in de ruimtelijke planning?
3. Welke eisen stelt de aanleg van een warmtenet aan stedenbouwkundige inrichting (ruimte voor leidingen, expansievoorzieningen en onderstations) en kan het stadsdeel hieraan voldoen?
4. Marktconforme warmtetarieven.

De punten 2 en 3 zijn specifieke beleidsaanbevelingen voor het stadsdeel Amsterdam-Noord. De punten 1 en 4 gaan alle stadsdelen aan die met aansluiting op het warmtenet te maken krijgen. Het is raadzaam gezamenlijk overleg met de energieleverancier over deze punten te voeren. Bij onderhandelingen over warmtetarieven is het raadzaam deskundigheid in te huren. Het is tevens aan te bevelen om de energieprestatienorm voor gebieden waar gebruik gemaakt wordt van het warmtenet 10% scherper te stellen.

### 4.4.2 All-electric

Een alternatief voor een warmtenet op korte termijn is de all-electric route. Dat is met name een goed alternatief voor kantoren. Het verdient aanbeveling ervaring op te doen met de all-electric route in projecten op kleine schaal. Onderzoek eerst welke ervaringen er elders zijn opgedaan. Novem kan informatie verschaffen over gerealiseerde projecten met elektrische warmtepompen in de woning- en utiliteitsbouw.

#### 4.4.3 Beperken energievraag

Hoe dan ook, is het belangrijk de aandacht te richten op beperking van de energievraag. Dat is een robuuste keuze, want het past in ieder toekomstbeeld. Het stadsdeel moet zich realiseren dat keuzes die nu gemaakt worden in stedenbouwkundige inrichting, bouwkundig ontwerp en isolatiegraad bepalend zullen zijn voor de energievraag op lange termijn. In Paragraaf 3.2 zijn verschillende aandachtspunten genoemd.

#### 4.4.4 Afzonderlijke projecten

Het is niet wenselijk op dit moment voor afzonderlijke projecten uit de herstructureringsopgave van Amsterdam-Noord een uitspraak over de optimale energie-infrastructuur te doen. Uit overleg tussen het stadsdeel en de desbetreffende energieleverancier moet blijken welke projecten in aanmerking komen voor aansluiting op een warmtenet. Daarna kan het stadsdeel bekijken binnen welke projecten de beste mogelijkheden zijn voor het opdoen van ervaringen met de all-electric route. Voor alle projecten zou beperking van de energievraag een belangrijk aandachtspunt moeten zijn. Voor alle projecten die aan de IJ-oeveren gesitueerd zijn, geldt dat de mogelijkheden van windenergie bekeken zouden moeten worden.

#### 4.4.5 BAEI

In het kader van het Besluit Aanleg Energie Infrastructuur hebben gemeenten de mogelijkheid om voor nieuwbouwprojecten groter dan 500 woningequivalenten een openbare aanbestedingsprocedure voor aanleg van de energie-infrastructuur te starten. Alle projecten in het stadsdeel Amsterdam-Noord zijn van voldoende omvang om van deze bevoegdheid gebruik te kunnen maken. Voordelen zijn dat meerdere energiebedrijven in concurrentie een aanbieding kunnen doen. Een aanbestedingscriterium stimuleert energiebedrijven te zoeken naar efficiënte oplossingen en biedt hen de mogelijkheid met creatieve oplossingen te komen. Vaak is het wel wenselijk dat de gemeente de randvoorwaarden opgeeft waaraan de aangeboden oplossing moet voldoen.

Echter, voor projecten die mogelijk op het bestaande warmtenet kunnen worden aangesloten is een tenderprocedure niet zinvol. Het bestaande warmtenet is eigendom van en wordt geëxploiteerd door een bepaalde energieleverancier. Het is nauwelijks denkbaar dat een ander energiebedrijf een deel van het warmtenet beheert.

Tevens moet het stadsdeel zich realiseren dat de tot nu toe elders gevoerde BAEI-procedures geleid hebben tot realisatie van oplossingen voor CO<sub>2</sub>-reductie waarbij in dit rapport de nodige vraagtekens zijn gezet (zoals kleinschalige biomassa-WKK, warmtepomp als voeding van een warmtenet).

Voor het realiseren van een project met de all-electric-route of windenergie aan de IJ-oeveren kan openbare aanbesteding wel de hierboven beschreven voordelen opleveren.

#### 4.4.6 Reductiedoelstelling

Als het stadsdeel haar ambitie wil uitdrukken in een doelstelling t.a.v. CO<sub>2</sub>-reductie dan is het raadzaam daarbij verschillende sectoren c.q. doelgroepen van de gebouwde omgeving apart te beschouwen. Aanbevolen wordt de doelstelling tot het gebouwgebonden energiegebruik te beperken. Hier heb je als gemeente mogelijkheden om beleid te voeren. Bij een doelstelling moet rekening worden gehouden met de toenemende energievraag van het stadsdeel. Hieronder volgt een rekenvoorbeeld wat betreft de woningbouw.

Op dit moment zijn er in het stadsdeel Amsterdam-Noord 39.000 woningen. Daar komen in de periode tot 2015 ca. 12.000 woningen bij en er worden ca. 6.000 woningen gesloopt. In 2015

omvat het woningbestand dus ca. 45.000 woningen. Daarvan kunnen 33.000 woningen tot de bestaande bouw (gebouwd voor 2000) worden gerekend en zullen er volgens de plannen slechts 600 gerenoveerd zijn. Het gemiddeld gasverbruik van het huidige woningbestand is 1300 m<sup>3</sup>. Nieuwbouw heeft een lager gasverbruik, uitgaande van een EPC=1,0 en het hoge aandeel gestapelde bouw een gasverbruik van ca. 850 m<sup>3</sup>. Tabel 4.2 geeft aan wat er uitgaande van deze veronderstellingen gebeurt met het totale gasverbruik in de woningbouw. Dat zou in de periode tot 2015 iets kunnen stijgen (van ca. 51 mln m<sup>3</sup> naar 53 mln m<sup>3</sup>). Het gemiddeld gasverbruik per woning daalt wel licht.

Tabel 4.2 *Ontwikkeling gasverbruik woningbouw stadsdeel Amsterdam-Noord*

	Aantal woningen	Gemiddeld gasverbruik [m <sup>3</sup> /woning per jaar]	Totaal gasverbruik [mln m <sup>3</sup> per jaar]
huidig woningbestand	39000	1300	51
sloop (gemiddeld verbruik)	-6000	1300	-8
nieuwbouw (EPC=1,0)	12000	850	10
renovatie (20% besparing)	600	-260	-0,2
totale woningbestand in 2015	45000	1177	53

Het stadsdeel heeft gevraagd of een CO<sub>2</sub>-reductie van 50% zoals voor Parkstad is berekend ook voor Amsterdam-Noord een denkbaar en haalbaar ambitieniveau is. Voor de beantwoording van deze vraag is het belangrijk goed te realiseren welke veronderstellingen bij een dergelijk ambitieniveau zijn gemaakt.

In de Energievisie voor Parkstad is een ambitie van 50% CO<sub>2</sub>-reductie voor het gebouwgebonden energiegebruik berekend (Ligthart et al., 2000). De woningen en voorzieningen die worden gesloopt in Parkstad gebruiken ongeveer de dubbele hoeveelheid aardgas ten opzichte van nieuw te bouwen woningen. Aangezien er grofweg twee keer zoveel nieuwe woningen zullen worden gebouwd als er zullen worden gesloopt blijft het gasverbruik in Parkstad globaal genomen gelijk als er geen extra maatregelen worden genomen. De berekende 50% CO<sub>2</sub>-reductie zou voor de helft gerealiseerd moeten worden met energievraag beperkende maatregelen op gebouwniveau. Dat kan alleen wanneer zowel in alle bestaande bouw renovatie plaats vindt en in alle nieuwbouw extra maatregelen worden getroffen t.o.v. de wettelijke EPC-eis van 1,0. De andere helft van de 50% besparingsambitie zou gerealiseerd moeten worden door maatregelen op gebiedsniveau. Zonder aansluiting op een warmtenet is die ambitie niet realiseerbaar.

Ook in Amsterdam-Noord worden er twee keer zoveel nieuwe woningen gebouwd dan er gesloopt worden. In tegenstelling tot Parkstad is het gasverbruik van de gesloopte woningen uitgaande van een gemiddeld verbruik echter niet twee keer zo hoog dan het gasverbruik van een nieuwbouwwoning die voldoet aan de wettelijke norm (EPC=1,0). Als het gasverbruik van de gesloopte woningen hoger is dan gemiddeld of de nieuw te bouwen woningen met een lagere EPC (EPC=0,75) worden gebouwd, dan blijft het totale gasverbruik wel gelijk.

De aansluiting op een warmtenet is waarschijnlijk alleen voor projecten met nieuwbouw mogelijk. Een additionele reductie van 25% door maatregelen 'op gebiedsniveau' (zoals in de Energievisie Parkstad geformuleerd) is dan alleen mogelijk bij een beperkt deel van de totale woningvoorraad.

Een CO<sub>2</sub>-reductie van het gebouwgebonden energiegebruik in woningen met 50% is voor het stadsdeel Amsterdam-Noord dus niet haalbaar:

1. doordat slechts een beperkt deel van de bestaande woningvoorraad wordt gerenoveerd,
2. doordat een lage EPC van nieuwe woningen reeds nodig is om de CO<sub>2</sub>-emissie door het gebouwgebonden energiegebruik niet te laten stijgen met de toename van het aantal woningen,
3. indien geen of slechts een beperkt deel van de woningvoorraad op een warmtenet wordt aangesloten.



## REFERENTIES

- Amsterdam-Noord (2000): *Concept-Plan van Aanpak 'De Banne', stadsdeel Amsterdam-Noord en woningcorporaties*. November 2000.
- BVR/dRO (2002a): *Voorontwerp Masterplan Noordelijke IJ-oever Amsterdam*. BVR Adviseurs stedelijke ontwikkeling, landschap en infrastructuur, in samenwerking met de dienst Ruimtelijke Ordening Amsterdam (dRO), in opdracht van het stadsdeel Amsterdam-Noord, november 2002.
- BVR/dRO (2002b): *Noord naar het IJ, uitgave van Stadsdeel Amsterdam-Noord*. BVR Adviseurs stedelijke ontwikkeling, landschap en infrastructuur, in samenwerking met de dienst Ruimtelijke Ordening Amsterdam (dRO), in opdracht van het stadsdeel Amsterdam-Noord, november 2002.
- DHV (2001a): *Milieuwerkprogramma 'De Banne', stadsdeel Amsterdam-Noord dossier T0386-01-001, registratienummer PM-MM20010299, versie 1*. Geschreven door DHV Huisvesting en Vastgoed, juni 2001 (in bewerking).
- DHV (2001b): *Milieuwerkprogramma 'Nieuwendam-Noord', stadsdeel Amsterdam-Noord, dossier T0386-01-001, registratienummer PM-MM20010289 versie 2*. Geschreven door DHV Huisvesting en Vastgoed, 25 juni 2001 (in bewerking).
- Jeeninga, H., J. Jelsma, J.C.P. Kester, H. Burger, R. de Wildt (Rigo), M. Damen (Rigo): *Klimaatneutrale Energiedragers in de Gebouwde Omgeving. Naar een actieplan*. ECN-C--02-077, Petten, ECN, december 2002.
- Jeeninga, H., P. Kroon, M. Weeda, T. van Wunnik (Energy Consultancy Plus (Netherlands)), T. Kipperman (Kipperman Consultancy & Mediation, Rosmalen (Netherlands)) (2002): *Transitie naar een duurzame energievoorziening in 2050: Evolutie of revolutie?* ECN-C--02-078, Petten, ECN, oktober 2002.
- Kester, J.C.P., F.A.T.M. Ligthart, N.C. Sijpheer (2001): *Richtlijn voor energiebesparing in de ICT branche: Mb versus MWh*. ECN-C--01-066, Petten, ECN, juni 2001.
- Lafleur, M.C.C., F.A.T.M. Ligthart, N.C. Sijpheer (2001): *Scenariostudie voor een optimale energie-infrastructuur in deelgebied 4 bedrijventerrein Cornelis Douwes Amsterdam-Noord*. ECN-C--01-016, Petten, ECN, februari 2001.
- Ligthart, F.A.T.M., S.M. Verhoog, W. Gilijamse (2000): *Lange termijn energievisie op Parkstad Amsterdam*. ECN-C--00-091, Petten, ECN, september 2000.
- Menkveld et al. (2000): *Energievisie Amsterdam, Notities en tekstbijdragen van ECN*. December 2000 (niet gepubliceerd).
- Menkveld, M. en G.J. Ruijg (2000): *Optimale energie-infrastructuur voor de nieuwbouwlocatie Bongerd/Zijkanaal 1 in Amsterdam-Noord*. ECN-C--00-064, Petten, ECN, mei 2000.
- Novem (2000): *Vademecum 'Energiebewust ontwerpen van nieuwbouwwoningen'*. Tweede herziene druk, februari 2000.
- Novem (2002): *CO<sub>2</sub> reuse through underground storage. The start-up: an inventory of market opportunities, technology and policy requirements*. Internet: [www.crust.nl](http://www.crust.nl).
- Sijpheer, N.C., F.A.T.M. Ligthart (2002): *Mogelijkheden tot vermindering van de benodigde koelenergie in datahotels. ICT; houd het hoofd koel*. ECN-C--02-017, Petten, ECN, februari 2002.

## INTERNET BRONNEN

<http://www.ivv.amsterdam.nl>

<http://www.noord.amsterdam.nl>

[http://www.duurzame-energie.nl/de/wp/wp\\_kosten.html](http://www.duurzame-energie.nl/de/wp/wp_kosten.html)

## BIJLAGE A PRODUCTIE, DISTRIBUTIE EN CONVERSIE ENERGIEDRAGERS

### A.1 Elektriciteit

#### A.1.1 Productie

Productie van elektriciteit met een lage CO<sub>2</sub>-inhoud is langs meerdere manieren mogelijk:

- hernieuwbaar door opwekking met hernieuwbare bronnen, zoals wind, waterkracht op zonne-energie (pv-panelen),
- klimaatneutraal via gasgestookte of kolengestookte elektriciteitscentrales met CO<sub>2</sub>-afvang en opslag of in kerncentrales.

De productie van hernieuwbare elektriciteit via windmolens, waterkracht of biomassa-centrales is een bewezen techniek die ook nu al wordt toegepast. Het potentieel voor waterkracht is binnen Nederland vrijwel benut. Wel wordt door Nederland relatief veel groene stroom in de vorm van waterkracht geïmporteerd uit het buitenland. Voor windenergie bestaat met name nog een zeer groot potentieel op zee. Momenteel zijn hiervoor de eerste proefprojecten in de voorbereidende fase. Windenergie (evenals pv) is zogeheten ‘niet stuurbaar vermogen’, dit omdat de productie afhankelijk is van een niet voorspelbare en niet stuurbare hoeveelheid wind. Dit leidt tot problemen indien het totaal opgestelde windvermogen meer dan 10% (circa 1500 MW) bedraagt van het totale vermogen (AER, 2001). Voor klimaatneutrale bronnen geldt daarentegen met name dat dit een nog onbewezen technologie is die staat of valt bij de mogelijkheid tot inzet van CO<sub>2</sub>-afvang en opslag. Elektriciteitsopwekking met behulp van kernenergie is een derde mogelijkheid. Ten aanzien van kernenergie dient te worden opgemerkt dat er in Nederland een behoorlijke maatschappelijk weerstand bestaat. Indien hier geen verandering in optreedt zal het moeilijk worden nieuw nucleair vermogen te realiseren.

#### A.1.2 Distributie

Distributie van centraal opgewekte klimaatneutrale en hernieuwbare elektriciteit kan via het bestaande elektriciteitsnet. Indien centraal geproduceerde klimaatneutrale of hernieuwbare elektriciteit ook ingezet wordt om in de eindvraag naar ruimteverwarming en warm tapwater te voorzien (de all-electric route), dient het bestaande elektriciteitsnet aanzienlijk verzwaaard te worden, hetgeen leidt tot (netto) extra kosten. Het aardgasnet komt in dit geval te vervallen.

#### A.1.3 Lokale conversie

Bij gebruik van klimaatneutrale elektriciteit voor de eindvraag naar elektriciteit is geen aanpassing nodig aan bijvoorbeeld huishoudelijke apparaten. In de ‘all-electric’ route, waarbij elektriciteit ook wordt ingezet voor ruimteverwarming en warmtapwater, dient in de woning een warmtepomp met warmtebron en lage temperatuurverwarming toegepast te worden. Warmtepompsystemen worden in Nederland dankzij stimuleringsmaatregelen van de overheid reeds op beperkte schaal toegepast, vooral in nieuwbouw. In kantoren worden deze systemen in de zomer ook ingezet voor koeling. In de ‘all-electric’ variant is het noodzakelijk om elektrisch te gaan koken.

## A.2 Waterstof (H<sub>2</sub>)

### A.2.1 Productie

Waterstof kan zowel via een klimaatneutrale (met CO<sub>2</sub>-afvang en opslag) als ook hernieuwbaar worden geproduceerd. Productie van klimaatneutrale waterstof is mogelijk door stoomreforming of autotherme reforming van aardgas. Deze processen worden reeds op industriële schaal toegepast, onder meer voor de productie van waterstof (H<sub>2</sub>) voor kunstmestfabricage. De CO<sub>2</sub> komt hierbij in vrijwel zuivere vorm vrij. Een alternatief voor stoomreforming van aardgas is productie van waterstof uit steenkool of olie. Voordeel van deze variant is dat er geen eenzijdige afhankelijkheid van aardgas ontstaat. Nadeel is dat er bij deze processen extra zuiveringsstappen van het productgas nodig zijn en dat er aanzienlijk meer CO<sub>2</sub> vrijkomt.

Een derde manier om waterstof (H<sub>2</sub>) te produceren is door elektrolyse van water, gevoed met klimaatneutraal opgewekte elektriciteit dan wel elektriciteit afkomstig uit hernieuwbare bronnen. Bij de productie van klimaatneutrale elektriciteit naar klimaatneutrale waterstof gaat circa 35% van de energie-inhoud verloren<sup>4</sup>. Daar bovenop komt nog het energieverlies bij omzetting van waterstof in elektriciteit en warmte<sup>5</sup>. Gezien de kosten die dit met zich meebrengt en de beperkte beschikbaarheid van hernieuwbare elektriciteit lijkt het aantrekkelijker om hernieuwbare elektriciteit direct te benutten, in plaats van deze om te zetten van hernieuwbare elektriciteit in klimaatneutrale waterstof. Ook worden er nieuwe typen nucleaire centrales ontwikkeld waarin rechtstreeks waterstof geproduceerd kan worden en de hoeveelheid radio-actief afval beperkt is in vergelijking tot de huidige centrales. Bij deze opwekkingswijze moeten wel beperkte hoeveelheden radio-actief afval opgeslagen worden, maar is er geen noodzaak van grootschalige opslag van CO<sub>2</sub>. Indien de maatschappelijke weerstand tegen kernenergie afneemt, is dit mogelijk ook een op termijn realiseerbare route.

De meest kansrijke optie voor grootschalige productie van H<sub>2</sub> lijkt productie uit aardgas door middel van stoomreforming. Voorwaarde hierbij is dat aardgas in voldoende mate en tegen een aantrekkelijke prijs beschikbaar is.

### A.2.2 Infrastructuur

Distributie van waterstofgas kan waarschijnlijk alleen plaatsvinden in een specifiek hiervoor ontworpen leidingenstelsel. Waterstof kan tot een beperkt percentage<sup>6</sup> worden bijgemengd in het huidige aardgasleidingenstelsel. In principe zou het wel technisch mogelijk zijn om lokaal de waterstof en het aardgas te scheiden. De waterstof kan dan lokaal verder worden gedistribueerd via een specifiek hiertoe aan te leggen leidingenstelsel. Momenteel wordt bijvoorbeeld door Gasunie bekeken of via praktijkexperimenten de haalbaarheid van deze oplossingsrichting kan worden bepaald.

### A.2.3 Lokale conversie

De waterstof kan lokaal worden omgezet in warmte en elektriciteit via een brandstofcel waarmee tegelijkertijd warmte en elektriciteit wordt geproduceerd. Omzetting van een waterstof/aardgas mengsel in conventionele conversiesystemen (zoals een aangepaste HR-ketel) is niet zinvol en wordt daarom hier buiten beschouwing gelaten. Momenteel worden in Nederland

---

<sup>4</sup> Uitgaande van een productierendement bij elektrolyse van 65%. (Arthur D. Little 1999, Novem GAVE: Analysis and Integral Evaluation of Potential CO<sub>2</sub>-neutral Fuel Chains Appendices, 84).

<sup>5</sup> Bij de brandstofcel circa 20% bij rendement thermisch/elektrisch van 55% / 25%

<sup>6</sup> Het is mogelijk om tot 10% H<sub>2</sub> bij te mengen zonder dat de apparatuur vervangen hoeft te worden. Wel dient vóór de introductie van het waterstof-methaan mengsel alle apparatuur anders ingesteld te worden.

de eerste experimenten uitgevoerd met brandstofcellen<sup>7</sup> voor de verwarming van de woning. Omdat het hier een nog experimentele techniek betreft zijn de kosten nog zeer hoog. De verwachting is dat deze bij grootschalige introductie aanzienlijk zullen kunnen dalen. Een koppeling met de elektriciteitsinfrastructuur blijft noodzakelijk voor het opvangen van pieken in de elektriciteitsvraag en voor de teruglevering van te veel geproduceerde elektriciteit. Bij zeer grootschalige toepassing van micro-warmtekrachtsystemen kan dit op termijn leiden tot een vergrote onbalans tussen de elektriciteitsvraag en de elektriciteitsproductie, zodat op centraal niveau meer midden- en pieklast moet worden ingezet. Door een deel van de gebouwde omgeving in de warmtevraag te voorzien met behulp van elektrische warmtepompen kan dit probleem grotendeels worden vermeden (AER, 2001). Doordat de aardgasaansluiting komt te vervallen moet er elektrisch gekookt worden.

## A.3 Warmte

### A.3.1 Productie

Er is een veelheid van manieren om lage temperatuur warmte te produceren. Dit kan rechtstreeks door verbranding van biomassa of aardgas, gebruik van aardwarmte of door warmteproductie met elektrische warmtepompen. Ook kan het als bijproduct van elektriciteitsproductie opgewekt worden in een warmte-kracht-centrale of bijvoorbeeld door de restwarmte uit een AVI te benutten. Technisch gezien is het ook mogelijk om restwarmte van kerncentrales te gebruiken.

De wijze van productie is echter sterk bepalend voor de CO<sub>2</sub>-inhoud van de warmte. Indien de warmte uit hernieuwbare bronnen wordt geproduceerd (met zonneboilers of behulp van biomassa) dan is de CO<sub>2</sub>-inhoud nul en is er altijd sprake van een reductie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot ten opzichte van de referentie situatie. Indien de warmte lokaal in een collectieve gasketel wordt opgewekt, dan is er sprake van een netto toename van de CO<sub>2</sub>-emissies vanwege de warmte verliezen in de leidingen van het lokale warmtedistributienetwerk. Warmte-aftap vanuit een hierop gedimensioneerde elektriciteitscentrale of AVI leidt doorgaans wel tot een daling van de CO<sub>2</sub>-uitstoot, zeker indien deze is voorzien van CO<sub>2</sub>-afvang en opslag. Indien de elektriciteitscentrale oorspronkelijk niet is ontworpen voor warmte aftap, dan kan er in bepaalde gevallen wel sprake zijn van een netto toename van de CO<sub>2</sub>-emissies. Dit aspect zou mogelijk in Amsterdam een rol kunnen gaan spelen als ook de (kolengestookte) Hemwegcentrale gebruikt zou gaan worden om warmte aan het ringnet te gaan leveren.

### A.3.2 Distributie

Distributie van warmte vindt plaats via speciale warmtedistributienetten. Een belangrijke variabele hierbij is de temperatuur waarmee de warmte wordt gedistribueerd. Deze ligt in de huidige stadsverwarmingsnetten meestal op een temperatuur tussen 70 tot 90 °C bij de eindgebruiker en tussen de 90 en 120 °C in het transportnet. Bij inzet van warmtepompen en aardwarmte is een lagere aanvoertemperatuur wenselijk (tot 70 °C). Dit heeft gevolgen voor de dimensionering van het warmtenet en voor de dimensionering van de eindgebruikerinstallatie. Deze lagere temperaturen maken ook het gebruik van nieuwe, goedkopere materialen voor de leidingen mogelijk en verminderen ook de leidingverliezen.

De investeringskosten voor een warmtedistributie-infrastructuur zijn aanzienlijk hoger dan die van een gasdistributie-infrastructuur. De meerinvestering voor de warmtedistributie-infrastructuur wordt slechts op lange termijn (20 jaar of meer) terugverdiend. Bij de huidige energieprijzen is de economische haalbaarheid van warmtedistributieprojecten sterk afhankelijk van de aanwezigheid van een geconcentreerde, hoge warmtevraag dichtbij een goedkope warmtebron.

---

<sup>7</sup> Hierbij wordt aardgas als brandstof gebruikt die via een reformer wordt omgezet in H<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub>.

Bij de meeste projecten bevindt de warmtebron zich binnen een straal van 10 km van de afnemers van de warmte.

### A.3.3 Lokale conversie

De levering van warmwater voor verwarming en warm tapwater wordt geregeld door een afleverset. Deze wordt geplaatst in de meterkast en (in de huidige situatie) geïnstalleerd en onderhouden door de exploitant van het warmtedistributienet. De bewoner hoeft geen energieconversie-apparatuur (zoals een verwarmingsketel) in zijn woning te plaatsen. Bij distributie van lage temperatuur warmte is in de woning een lage temperatuur verwarmingssysteem noodzakelijk. Doordat het gasnet verval, is het noodzakelijk om te gaan koken op elektriciteit.

## A.4 Synthesegas

### A.4.1 Productie

Synthesegas kan geproduceerd worden door vergassing van biomassa. Hierbij wordt biomassa verhit in een ruimte zonder zuurstof. Als het synthesegas geproduceerd wordt uit biomassa, kan het beschouwd worden als hernieuwbare energiedrager. Synthesegas dat geproduceerd wordt uit biomassa heeft niet dezelfde constante kwaliteit en zuiverheid als aardgas. Voor een goed rendement en lage emissies bij de verbranding is dit wel noodzakelijk. Bij de productie zijn daarom extra voorzieningen nodig voor beheersing van de kwaliteit en zuivering. Relatief grootschalige productie op industrieterreinen buiten de woon- en kantoorgebieden is daarom het meest aanmerkelijk.

### A.4.2 Infrastructuur

Synthesegas kan in principe gedistribueerd worden in het bestaande aardgasnet. Doordat (afhankelijk van de samenstelling) de verbrandingswaarde de helft of minder is dan van aardgas, dient hiertoe mogelijk wel de capaciteit van het aardgasnet aanzienlijk vergroot te worden. Niet duidelijk is of de huidige overcapaciteit in de bestaande woonwijken toereikend is. Bovendien dienen er extra veiligheidsmaatregelen genomen te worden in verband met de aanwezigheid van koolmonoxide (giftig) en waterstof (explosief) in het gasmengsel<sup>8</sup>.

### A.4.3 Lokale conversie

In principe kunnen de bestaande aardgasgestookte energieconversie-apparaten (verwarmingsketel, fornuis) ook op synthesegas gestookt worden. Zij dienen hiertoe wel aangepast te worden voor de lagere verbrandingswaarde van syngas. Deze aanpassingen, zoals bijvoorbeeld het vervangen van de branders, zijn vergelijkbaar met de grootschalige overschakeling in de jaren '60 van stadsgas op aardgas.

## A.5 Synthetisch aardgas (SNG)

### A.5.1 Productie

In principe zou kan synthetisch aardgas (SNG) worden geproduceerd door vergassing van biomassa in aanwezigheid van waterstof. SNG heeft ongeveer dezelfde eigenschappen als fossiel aardgas (Mozaffarion en Zwart, 2000). De energiebronnen voor dit proces zijn waterstof (55%) en biomassa (45%). De bijdrage aan de CO<sub>2</sub>-reductie wordt sterk bepaald door de manier waar-

---

<sup>8</sup> Synthesegas is een mengsel van koolmonoxide, waterstof en methaan.

op de waterstof wordt geproduceerd. Is deze afkomstig uit klimaatneutrale of duurzame bronnen, dan is de CO<sub>2</sub>-inhoud van het synthetisch aardgas (vrijwel) nul. Opgemerkt dient te worden dat het hier nog een onbewezen techniek betreft die zich nog in de laboratoriumfase bevindt. Vanwege de complexiteit van het productieproces is relatief grootschalige productie op industrieterreinen het meest aannemelijk.

#### A.5.2 Distributie

Verondersteld wordt dat distributie zonder verdere aanpassing via het bestaande aardgasnet kan plaatsvinden. Een elektriciteitsinfrastructuur blijft echter noodzakelijk om in de vraag naar elektriciteit te voorzien.

#### A.5.3 Energieconversie

Doordat de eigenschappen van SNG gelijk zijn aan die voor ‘normaal’ aardgas, kan de lokale conversie met dezelfde apparatuur plaats vinden als nu voor aardgas (VR- en HR-ketel). Koken op dit gas is zonder aanpassing mogelijk.