

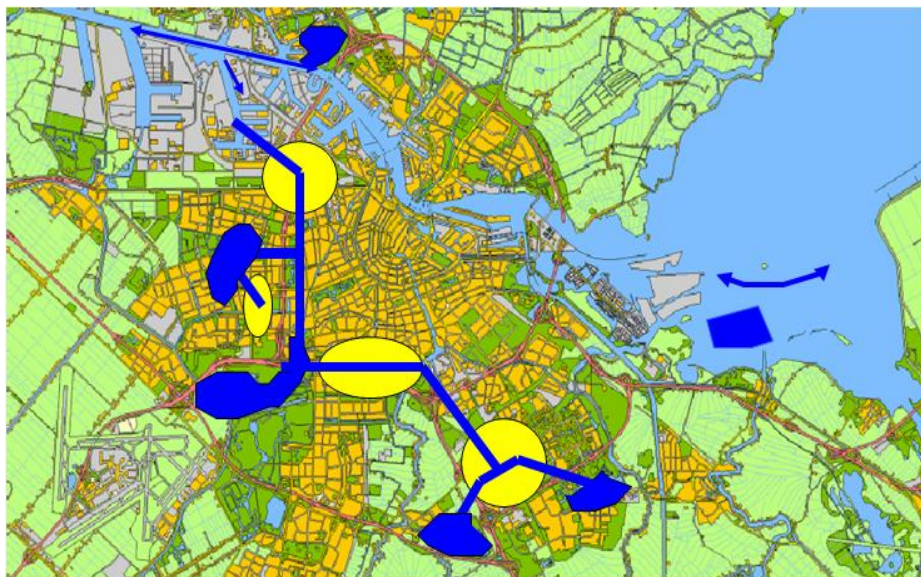


Gemeente Amsterdam

Programmabureau Klimaat en Energie

Stadskoude is hot

Nut- en noodzaak stadskoude
Amsterdam: haal meer uit de meren!



Versie 18 januari 2011

College van B&W heeft kennisgenomen

Inhoud

I. SAMENVATTING	5
STAND VAN ZAKEN	5
<i>Bestuurlijk: geen bestuurlijk standpunt over stadskoude</i>	<i>5</i>
<i>Nut en noodzaak: haal meer uit de meren!</i>	<i>5</i>
<i>Technisch: bron – netwerk - afnemer</i>	<i>6</i>
<i>Organisatorisch: NUON initiatiefnemer, vele partijen betrokken.....</i>	<i>6</i>
TOEKOMSTIGE ACTIES	7
<i>Korte termijn:</i>	<i>7</i>
<i>Lange termijn</i>	<i>7</i>
II. INLEIDING EN PROBLEEMSTELLING.....	8
ENERGIEBELEID GEMEENTE AMSTERDAM.....	8
TOENEMENDE KOUDEVRAAG	8
PROBLEEMSTELLING: BESCHRIJVING STADSKOUDE.	9
LEESWIJZER	10
III. KOUDE IN VOGELVLUCHT.....	11
KOUDE IN NEDERLAND	11
<i>Kabinetsdoelstellingen energiegebruik</i>	<i>11</i>
<i>Huidige primair energiegebruik in Nederland: warmte en koude.....</i>	<i>11</i>
<i>Bestaande koudenetten in Nederland</i>	<i>12</i>
<i>Verduurzamen koude aan de hand van de Trias Energetica.</i>	<i>13</i>
<i>Wet- en regelgeving over stadskoude ontbreekt</i>	<i>14</i>
<i>Uitfaseren synthetische koelmiddelen mbv stadskoude</i>	<i>14</i>
KOUDE IN AMSTERDAM.....	15
<i>Koudevraag: nieuwbouwwoningen</i>	<i>15</i>
<i>Koudevraag: kantoren.....</i>	<i>16</i>
IV. STADSKOUDE: DE KETEN	17
DE KETEN: BRON – NETWERK - AFNEMER	17
BRONNEN	17
<i>Bronnen: COP-waarden bepalen duurzaamheid</i>	<i>17</i>
<i>Bronnen: inzet met behulp van jaarbelastingduurkromme.....</i>	<i>19</i>
<i>Bronnen: buffers.....</i>	<i>20</i>
<i>Bronnen: diepe meren de belangrijkste duurzame koudebron</i>	<i>20</i>
NETWERK	23
<i>Netwerk: beschrijving.....</i>	<i>23</i>
<i>Netwerk: kenmerken.....</i>	<i>24</i>
<i>Netwerk: groei door rijgen van kralen</i>	<i>24</i>
<i>Netwerk: stadskoude als basis voor een grootstedelijk netwerk.....</i>	<i>24</i>
AFNEMERS	25

BEOORDELING KETEN: DE KRACHT VAN COLLECTIVITEIT	25
<i>De kracht van collectiviteit</i>	26
<i>Betrouwbaarheid: hoog</i>	27
<i>Duurzaamheid: hoog</i>	27
<i>Betaalbaarheid afnemer</i>	28
<i>Betaalbaarheid aanbieder</i>	28
V. STADSKOUDE IN AMSTERDAM	30
BRONNEN: DIEPE MEREN RONDOM AMSTERDAM	30
<i>Amsterdam: vele diepe meren rondom de stad</i>	30
<i>Organisatie taken en bevoegheden m.b.t. de meren</i>	31
<i>Mogelijkheden voor stadskoude en totale capaciteit</i>	32
<i>Eigendom van de koude in het water</i>	33
BRONNEN: HUIDIGE KOUDEWINNING UIT NIEUWE MEER EN OUDERKERKERPLAS	34
<i>De Nieuwe Meer:</i>	34
<i>De Ouderkerkerplas:</i>	35
<i>Capaciteit Nieuwe Meer en Ouderkerkerplas</i>	36
OVERIGE BRONNEN	37
<i>GOS / GET als koudebron: algemeen</i>	37
<i>GOS / GET in Amsterdam</i>	39
<i>Overig water als koudebron</i>	40
<i>WKO installaties</i>	40
<i>Alle andere technologieën</i>	40
NETWERK EN AFNEMER IN AMSTERDAM	40
<i>Zuidas: eerste koudenet in uitvoering</i>	40
<i>Zuidas: financiën</i>	41
<i>Zuidas: uitvoeringsproblemen</i>	42
<i>Zuidoostlob: tweede koudenet in uitvoering</i>	42
<i>Zuidoostlob: financiën</i>	43
<i>Zuidoostlob: uitvoeringsproblemen</i>	43
<i>Teleport en Slotervaart Ziekenhuis: derde en/of vierde koudenet in Amsterdam?</i>	45
<i>Teleport en Slotervaart Ziekenhuis: uitvoeringsproblemen</i>	46
<i>Koppelen netwerken</i>	46
KETEN: HUIDIGE EN TOEKOMSTIGE ORGANISATIE VAN STADSKOUDE	47
KETEN: BEOORDELING AMSTERDAMSE STADSKOUDE	48
<i>Betrouwbaarheid: hoog</i>	48
<i>Betaalbaarheid: nog in discussie</i>	48
<i>Duurzaamheid: hoog</i>	48
VI. BIJLAGEN	50
BIJLAGE 1: STADSKOUDE EN -WARMTE	50
BIJLAGE 2: BLAUWALGEN EN STADSKOUDE	52
<i>Inleiding: blauwalgen</i>	52
<i>Oorzaak groei blauwalgen</i>	52

<i>Bestrijding blauwalgen: oorzaak- of symptoombestrijding afhankelijk van verbinding met overig water.....</i>	<i>52</i>
<i>Nieuwe Meer.....</i>	<i>53</i>
<i>Specifieke oplossingen voor het Nieuwe Meer</i>	<i>56</i>
<i>Ouderkerkerplas.....</i>	<i>56</i>
<i>Schema Nieuwe Meer en Ouderkerkerplas.....</i>	<i>57</i>
VII. LITERATUURLIJST:	58
<i>Rapporten:.....</i>	<i>58</i>
<i>Powerpoints:</i>	<i>60</i>
<i>Websites:</i>	<i>60</i>

I. Samenvatting

Stand van zaken

Dit rapport is bedoeld om stadskoude onder de aandacht te brengen. De belangrijkste punten zijn:

Bestuurlijk: geen bestuurlijk standpunt over stadskoude

- De gemeente Amsterdam heeft als doelstelling om in 2025 40% CO₂ te reduceren ten opzichte van het peiljaar 1990.
- De gemeente Amsterdam heeft als doelstelling voor de gebouwde omgeving om vanaf 2015 klimaat neutraal te bouwen, zowel voor woningen als voor utiliteit¹
- Stadskoude is een duurzame vorm van energie, en levert een belangrijke bijdrage aan klimaatneutraal bouwen en CO₂ reductie.
- De gemeente Amsterdam is slechts in randvoorwaardelijke zin betrokken bij de huidige projecten (bv vergunningen ten behoeve van de aanleg van leidingen), maar participeert niet actief. Er is geen bestuurlijk standpunt ten aanzien van stadskoude.

Nut en noodzaak: haal meer uit de meren!

- Exacte cijfers over de groei naar koude zijn niet bekend, maar zeker is dat de koudevraag toeneemt bij woningen én utiliteit.
- Volledige kouderange (6-20 graden). Stadskoude bedient de gehele range voor koude. Het is daarom geschikt voor proceskoeling, de aansluiting van bestaande- en nieuwbouw, zowel woningen als utiliteit. Bestaande elektrische compressie koelmachines kunnen worden vervangen.
- Hoge energetische efficiency. Stadskoude heeft een zeer hoge energetische efficiency, met een COP groter dan 10, en reductie van CO₂ van 75% ten opzichte van conventionele compressiekoeling.
- Uitfaseren synthetische koelmiddelen. Stadskoude kan bestaande elektrische compressiekoelmachines vervangen, waardoor het gebruik van schadelijke synthetische koelstoffen vermindert.
- Matching grootschalige vraag met grootschalig aanbod. In Amsterdam is een beperkt aantal gebieden waarin de vraag hoog genoeg is voor een stadskoudenet, zoals de Zuidas, Zuidoostlob, Teleport. Bij deze kantoorlocaties bevinden zich grootschalige, duurzame koudebronnen. Dit zijn:

¹ Zie bv Energiestrategie Amsterdam 2040, Progam Akkoord 2010 - 2014

- Diepe meren (voormalige zandwinputten) die rondom de stad liggen, zoals de Gaasperplas, de Ouderkerkerplas, de Nieuwe Meer, De Sloterplas.
- GOT/GET installatie(s);
- WKO bronnen, die op het systeem kunnen worden aangesloten.
- Grote capaciteit. Stadskoude heeft een grote capaciteit. De huidige vergunde vermogens stadskoude besparen bijna 70 GWh elektriciteit, gelijk aan ongeveer 750.000 m2 zonnecellen, of 15 windmolens van 2 MW. De potentie bedraagt een veelvoud hiervan.

Technisch: bron – netwerk - afnemer

Stadskoude heeft de volgende kenmerken:

- Ketenbenadering: Het systeem kan het best omschreven worden met een ketenbenadering: bron – netwerk - afnemer. De bron is veelal een diep meer, het netwerk bestaat uit een stelsel van leidingen en een KPC (Koude Productie Centrale). Het water wordt op een temperatuur van 6 graden bij de afnemers gebracht Het retourwater wordt met 16 graden geloosd op de meren.
- Nabijheid koudevraag en -aanbod. Koudevraag en -aanbod moeten dicht bij elkaar liggen, omdat de kosten van de infrastructuur erg hoog zijn.
- Flexibiliteit. Alle mogelijke bronnen kunnen aan het net worden gekoppeld. De meest duurzame bronnen zijn de diepe meren rondom de stad.
- Betrouwbaarheid. Stadskoude is een eenvoudige techniek met een hoge leveringszekerheid.
- Gebiedsgerichtheid, met als belangrijkste kenmerken:
 - Collectiviteit. Stadskoude is bedoeld om een geheel gebied van duurzame koude te voorzien, en is te grootschalig voor één individueel gebouw. Door de collectiviteit en betrouwbaarheid is er minder back-up en piekvermogen noodzakelijk, waardoor kosten kunnen worden bespaard
 - Balans in vraag en aanbod. De infrastructuur van stadskoude is in staat om de vraag en aanbod van duurzame koude in gebied op elkaar af te stemmen, zowel in ruimte (in een bepaald gebied) als in tijd (dag/nacht; zomer/winter). Zo kunnen bijvoorbeeld gebouwen die een overschot aan koeling hebben deze afstaan aan naastgelegen gebouwen, of kunnen WKO bronnen die uit balans zijn in de winter worden gegenereerd. Stadskoude heeft hierbij een vergelijkbare rol als het hoogspanningsnet van Tennet bij elektriciteit.

Organisatorisch: NUON initiatiefnemer, vele partijen betrokken

- NUON is de enige partij in Amsterdam die grootschalige stadskoude aanbiedt. NUON is initiatiefnemer en investeert enkele tientallen miljoenen per project. De financiële rendementen zijn volgens NUON te laag zijn, en daarom is de start van nieuwe projecten voorlopig stilgezet. Voorlopig worden alleen bestaande projecten verder ontwikkeld.

- Er zijn veel partijen over de gehele keten betrokken: waterschappen, recreatieschappen, staatsbosbeheer, gemeenten, Rijkswaterstaat, diverse afnemers. De verschillende overheidsorganen zijn op een aantal randvoorwaardelijke punten betrokken bij stadskoude (bijvoorbeeld: gemeente bij aanleg van leidingen; waterschappen bij bewaking van de waterkwaliteit), maar participeren niet actief in de projecten.
- Afgestemde wet- en regelgeving ten behoeve van stadskoude ontbreekt, zoals bijvoorbeeld wetgeving de eigendom en waarde van de koude; de wijze waarop de gemeente een concessie mag/kan verlenen enz;

Toekomstige acties

Uit het onderzoek blijkt dat stadskoude in Amsterdam mogelijk en zinvol is. Een aantal vragen is nog niet beantwoord. De belangrijkste daarvan is of de gemeente een rol wil spelen bij de stimulering van stadskoude. Indien de vragen positief wordt beantwoord, dan volgen een aantal acties:

Korte termijn:

Financieel

1. onderzoek naar en bemiddeling bij de hoogte van de precario die SBB / GGA aan NUON vraagt voor het leggen van leidingen (zie pag 42, 43)
2. onderzoek naar en bemiddelen bij de tarieven voor afnemers in het algemeen, de Amsterdam Arena in het bijzonder (zie pag 43);

Ecologisch

3. onderzoek naar en bemiddelen bij het bestrijden van blauwalgen, zodanig dat de gelaagdheid van het meer niet wordt aangetast (zie bijlage 2, "ecologische neven effecten stadskoude");

Lange termijn

De organisatie van stadskoude in Amsterdam, en de rol die de gemeente wil spelen, zoals bijvoorbeeld:

Organisatorisch / juridisch:

1. het opleggen van een aansluitplicht op stadskoude, dan wel het uitgeven van een concessie (zie pag 14)
2. het vragen van een vergoeding voor het gebruik van het koude water, dan wel het compenseren van het gemaakte verlies (zie pag 32, 33)
3. gemeentelijke participatie in stadskoude, bijvoorbeeld in WPW (zie pag 47)

Fysiek

4. Uitbreiding van bestaande netwerken (Amsterdam Zuidoost en Zuidas), ontwikkeling van nieuwe netwerken (Teleport, Slotterplas) en verbinden van netwerken (zie pag 45)

II. Inleiding en probleemstelling

Energiebeleid gemeente Amsterdam

Het Program Akkoord 2010-2014 van de gemeente bevat hoge duurzaamheidsdoelstellingen. De ambitie is om 2015 klimaat neutraal te bouwen en te investeren in maatregelen voor een beter klimaat, een schoner milieu en voor een duurzame energieopwekking²

De doelstelling is om in 2025 40% CO₂ te reduceren ten opzichte van het peiljaar 1990. In de Energiestrategie Amsterdam 2040 worden de hoofdlijnen van het te voeren beleid neergelegd voor alle beleidsterreinen (ICT, verkeer, afval enz)³. Het beleid ten aanzien van de gebouwde omgeving kent als hoofdlijn:

- vraagbeperking (door isolatie)
- verduurzaming van de bron (gebruik restwarmte, lokale opwek);

In de nieuwbouw wordt vanaf 2010 tot 2014 de helft van de woningen en de utiliteit klimaatneutraal gebouwd, vanaf 2015 alle woningen en utiliteit.

Per gebied wordt een energievisie gemaakt. Daarin wordt de energievraag van het gebied beschreven en hoe deze het beste duurzaam kan worden ingevuld. Hierbij is de trias energetica leidend: eerst moet de energievraag worden beperkt, vervolgens moet deze duurzaam worden ingevuld, en de resterende vraag naar energie moet met efficiënt fossiele technieken worden opgewekt.

Toenemende koudevraag

Het onderwerp 'koude' is in de Energiestrategie nog niet volledig uitgewerkt. Het onderwerp 'warmte' is leidend, omdat de warmtevraag verreweg het grootst is. Toch is het van belang om een strategie voor koude te ontwikkelen, omdat de volgende feiten bekend zijn:

- De koudevraag is groeiend. Exacte cijfers zijn niet bekend, noch voor Nederland, noch voor Amsterdam;
- Het opwekken van koude met elektriciteit is energetisch en financieel ongunstig.
- De koelvraag voor ruimtekoeling is het grootst voor kantoren, ziekenhuizen en zorginstellingen. De koudevraag bij utiliteit wordt vooral bepaald door ruimtekoeling;

2 Gemeente Amsterdam, Program Akkoord 2010 – 2014

3 Klimaatbureau, februari 2010

bij sommige vormen van utiliteit is de koudevraag al twee keer zo groot als de warmtevraag;

- De koelvraag bij huishoudens ontstaat vooral door het gebruik van koelkast en diepvries apparatuur; het gebruik van airco's ten behoeve van ruimtekoeling is echter snel groeiend;
- De traditionele koelmachines maken gebruik van schadelijke koelmiddelen die worden verboden

Probleemstelling: beschrijving stadskoude.

Amsterdam bevindt zich in een luxe positie, omdat het beschikt over drie vormen van duurzame warmte en koude opwekking:

- stadswarmte (restwarmte, groene warmte op basis van biomassa of afval, geothermie);
- warmte koude Opslag (WKO);
- stadskoude (met diepe meren als bron).

Om deze duurzaamheidskansen te benutten is het van belang deze drie opties goed op elkaar af te stemmen. Zonder gemeentelijke regie dreigt een financieel en energetisch sub-optimaal resultaat te worden behaald. Het bureau CE heeft in een rapport in opdracht van het klimaatbureau al een voorschot gegeven. Na gesprekken met alle betrokkenen is in 2007 de volgende voorkeursvolgorde voorgesteld⁴:

- 1 Waar stadswarmte beschikbaar is, heeft toepassing hiervan de eerste voorkeur;
- 2 Voor koudetoepassingen in de utiliteitssector heeft koude vanuit Nieuwe Meer of Ouderkerkerplas de eerste voorkeur;
- 3 Voor koudetoepassingen in de utiliteitssector (grootschalig) waar deze koude niet beschikbaar is, maar wel stadswarmte beschikbaar is, wordt absorptiekoeling ingezet;
- 4 Voor koudetoepassingen op locaties met hoofdzakelijk woningbouw wordt het fusieconcept ingezet;
- 5 Als geen stadswarmte beschikbaar is, wordt indien mogelijk (d.w.z. bij voldoende omvang) koude-/ warmteopslag ingezet.

Er is veel te zeggen voor de visie van CE, maar het is nog wel nodig deze verder uit te werken. Daarvoor is het nodig dat alle drie vormen uitgebreid in beeld worden gebracht. De stadswarmte is beschreven in de "Schaalsprong Stadswarmte" (BenW, november 2008).. Op dit moment wordt verder onderzoek gedaan naar de rol die WKO in de stad kan spelen. Dit voorliggende rapport beschrijft de stadskoude. De probleemstelling luidt daarom:

⁴ CE, 2009, paragraaf 5.1.1. pagina 21

“Wat is stadskoude, en wat is de stand ervan in Amsterdam?”.

Het rapport is inventariserend van aard. Het beschrijft de huidige praktijk met bijbehorende uitdagingen. Een aantal oplossingsrichtingen komen aan de orde. Hierover wordt echter nog geen definitief advies gegeven. Er wordt momenteel gewerkt aan een overkoepelend rapport over de rol van stadswarmte, stadkoeling en WKO.

Leeswijzer

Het rapport geeft een beschrijving van stadskoude met behulp van de ketenbenadering. Een aantal thema's worden op abstract niveau behandeld (bijvoorbeeld de keten zelf, de groei van blauwalgen) en komen daarna op concreet niveau terug. In hoofdstuk 'Stadskoude: de keten' worden bijvoorbeeld de principes van stadskoude uitgelegd, daarna worden deze herhaald en toegepast in het volgende hoofdstuk over stadskoude in Amsterdam. Dat heeft als nadeel dat sommige onderdelen worden herhaald, maar heeft als voorbeeld dat ieder onderdeel zelfstandig leesbaar is.

III. Koude in vogelvlucht

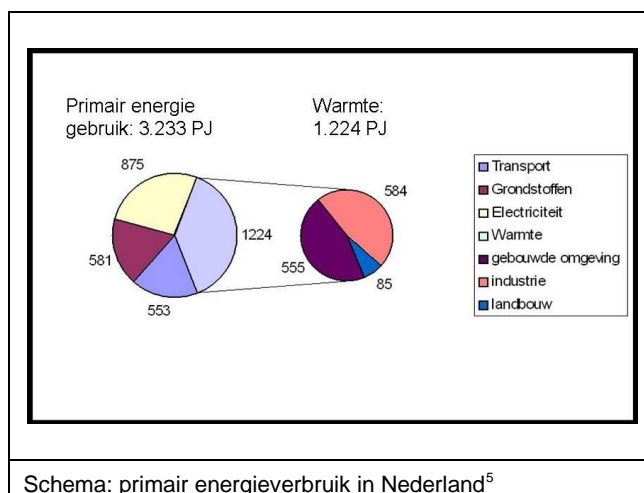
Koude in Nederland

Kabinetsdoelstellingen energiegebruik

Het kabinet heeft scherpe doelstellingen geformuleerd voor energiebesparing en duurzaamheid: een energiebesparing van 2 procent per jaar, een verhoging van het aandeel duurzame energie tot 20 procent in 2020 en een reductie van de uitstoot van broeikasgassen, bij voorkeur in Europees verband, van 30 procent in 2020 ten opzichte van peiljaar 1990.

Huidige primair energiegebruik in Nederland: warmte en koude

Het primaire energiegebruik in Nederland bedraagt ongeveer 3.200 PJ. Hiervan wordt 40% voor verwarming gebruikt, 24% voor elektriciteit, 18% voor transport, en 18% als grondstof. De warmte wordt grotendeels gebruikt in de gebouwde omgeving en de industrie, en voor een beperkt deel in de landbouw zoals kassen. In onderstaande figuur is dat schematisch weergegeven. Als het kabinet de 2020 doelstellingen wil halen, dan moet er dus ongeveer 200 PJ aan warmte worden bespaard, en 200 PJ aan duurzame warmte worden geproduceerd.



Er is relatief weinig onderzoek gedaan naar de vraag naar koude. De warmte- en koudevraag worden vaak in één adem beschreven. Recent onderzoek van ECN stelt dat de *finale* koudevraag op 119 PJ Het is voornamelijk verdeeld over huishoudens en utiliteit

5 Senter Novem, januari 2009

en betreft alle vormen van koeling, dus ruimtokoeling én koel- en vries apparatuur ten behoeve van productkoeling.

De koudevraag is echter sterk groeiend. Verklaringen die hiervoor worden gegeven zijn

- Opwarming van het klimaat en urban heat effecten;
- Opwarming van gebouwen als gevolg van extra isolatie;
- Toename van de interne warmtelast door verlichting, computers en huishoudelijke apparaten;
- Toename aandacht voor het binnenklimaat in termen van gezondheid en comfort.

De koudevraag is voornamelijk geconcentreerd in de huishoudens en utiliteit. De vraag in de landbouw en industrie is verrassend klein⁶. In de huishoudens wordt de koudevraag bepaald door de koelkast en vriezer (namelijk 17% van het huishoudelijk elektriciteitsgebruik⁷); in de utiliteit wordt de koudevraag juist bepaald door de vraag naar ruimtokoeling. In onderstaande tabel is dat in cijfers uitgedrukt: slechts 6% van de huishoudens is voorzien van airco, in de utiliteit is dat percentage hoger dan 50%. Uit onderstaande tabel blijkt dat de koelvraag voornamelijk is geconcentreerd in utiliteit (ziekenhuizen, kantoren, winkels, enz), en beperkt wordt toegepast in woningen als extra comfort.

Woningen	6
Onderwijs	22
Verpleging en verzorging	33
Winkels	47
Kantoorgebouwen	58
Ziekenhuizen	81
Tabel: 1 Percentage dat koelapparatuur bezit tbv ruimtokoeling ⁸	

Bestaande koudenetten in Nederland

In Nederland komen steeds meer koudenetten. Amsterdam loopt voorop: op de Oostelijke Handelskade in Amsterdam zijn alle kantoren, hotel en de terminal voor de cruiseschepen aangesloten op een collectief WKO systeem. De koudebron bestaat uit bodemkoude, aangevuld met vrije koeling met water uit het IJ. De Zuidas en Zuidoost hebben koudenetten met diepe meren als bron. In Hilversum krijgen ca. tweehonderd bedrijven op het Mediapark al jaren koude per pijpleiding. Als bron wordt een WKK met

6 ECN, 2009, pag 14.

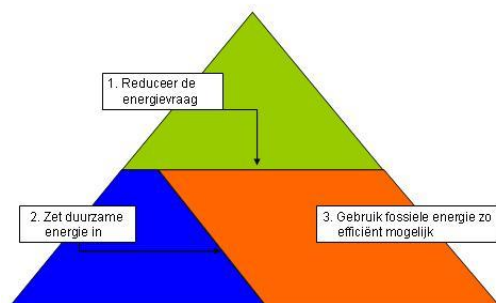
7 www.milieucentraal.nl (zoeken op: energie, apparaten, koelen, vriezen)

8 ECN, 2009, tabel 4, pag 12 en pag 13

absorptiekoeling gebruikt. Steenwijk (project Eeserwold) kent een koudenet met als bron een diepe zandwinput. Maastricht heeft een kleinschalig koudenet met absorptiekoeling op basis van restwarmte van Sappi, de papierfabrikant⁹.

Verduurzamen koude aan de hand van de Trias Energetica.

De verduurzaming van de koudevraag begint, net zoals veel ander energiebeleid, bij de trias energetica. Deze kent drie stappen, zoals in onderstaand figuur is weergegeven.



1. In de eerste plaats moet de (koude)vraag worden voorkomen. Ruimteverkoeling is niet nodig als onnodige verhitting wordt voorkomen. Een goed ontwerp en inrichting van het gebouw is hierbij essentieel, zoals bijvoorbeeld overkappingen om de instraling van de zon tegen te houden en het aanpassen van apparatuur om de koudevraag te beperken of te voorkomen dat de warmte van apparatuur in het gebouw komt.

Een mooi Amsterdams voorbeeld waarin de eerste stap van de Trias Energetica goed is toegepast is het project "Handhaven bij supermarkten, een open deur". De gemeente vond het onacceptabel dat supermarkten koelmeubels niet afdekten waardoor onnodig energieverbruik ontstond. Door koelingen van deuren te voorzien is de koudevraag verminderd. De door de koelinstallaties geproduceerde warmte wordt gebruikt voor de verwarming van de winkel.

2. In de tweede plaats moet de (koude)vraag duurzaam worden opgewekt. Voorbeelden hiervan zijn de 'vrije' of 'natuurlijke' koeling op basis van het koude water uit een diep meer (stadskoude), koeling met opslag van warmte en koude in de bodem (WKO), koeling met behulp van de buitenlucht (Luko's), of koeling met behulp van absorptiekoeling in combinatie met zonnepwarmte.

⁹ Senter Novem, januari 2010

3. In de derde plaats moet fossiele energie efficiënt worden ingezet. Het voorbeeld hiervan is de standaard (individuele compressie koelmachine) die in de loop der tijd steeds efficiënter is geworden.

Veel technieken zijn een combinatie van de tweede en derde stap, bijvoorbeeld WKO (warmte koude opslag), LUKO's (luchtkoeling). Er wordt gebruik gemaakt van duurzame bronnen (koude uit de bodem, respectievelijk de lucht), maar de aandrijfenergie is meestal elektriciteit (dus fossiel).

Wet- en regelgeving over stadskoude ontbreekt

Er bestaat in Nederland geen integrale wetgeving ten behoeve van stadskoude. De warmtewet reguleert de tarieven voor groot- en kleinschalige warmtelevering. De wetgever heeft bij de totstandkoming van de wet regels omtrent de levering van koude expliciet geschrapt. Er is (nog) geen regelgeving over concessieverlening en/of een aansluitplicht op stadskoude. Hiervoor zijn misschien aanknopingspunten te vinden bij het stadswarmtebeleid.

De Nederlandse regelgeving geeft *de jure* geen mogelijkheid voor een concessieverlening voor warmtelevering. De mogelijkheid bestaat *de facto* echter wel. Gemeenten hebben namelijk wel de bevoegdheid om in de bouwverordening een aansluitplicht op warmte op te nemen. Hiermee wordt feitelijk toch een concessie uitgegeven. Wellicht kan een dergelijke verplichting ook voor koude worden opgenomen in de gemeentelijke bouwverordening.

Hiervoor is echter verder onderzoek noodzakelijk, omdat er een groot verschil is tussen warmte- en koudelevering. Warmtelevering heeft veel gelijksoortige afnemers (namelijk woningen met allemaal ongeveer eenzelfde gebruik). De aansluitplicht is bedoeld om een eenmaal uitonderhandelde prijs algemeen geldend te verklaren. Koudelevering is vooral bedoeld voor grootschalige afnemers met ieder een eigen gebruikersprofiel, waarvoor steeds een individuele prijs moet worden afgesproken. Het opleggen van een aansluitplicht geeft de koudeleverancier een onevenredig onderhandelingsvoordeel. Een aansluitplicht voor koude heeft dus veel meer maatwerk nodig.

Uitfasen synthetische koelmiddelen mbv stadskoude

Traditionele koelinstallaties maken veelal gebruik van synthetische koudemiddelen. Deze hebben grote nadelen, want bij lekkage tasten ze de ozonlaag aan én ze hebben een zeer sterk broeikas-effect. Europese regelgeving zal op termijn de schadelijke koelmiddelen dwingend uitfasen. Stadskoude biedt uitkomst, omdat de meeste synthetische koelmiddelen worden vervangen door natuurlijke koeling.

Behandeling van juridische en technische aspecten hiervan vallen buiten het bereik van dit rapport, maar toch een korte toelichting.

In de jaren dertig zijn voor compressiekoelmachines synthetische koudemiddelen ontwikkeld. Deze koudemiddelen zijn verbindingen van chloor, fluor en koolstof (CFK's) of hydrochlorofluorkoolwaterstoffen (HCFK's). Elk koudemiddel heeft een eigen nummer gekregen, dat vooraf wordt gegaan door de letter R van refrigerant. CFK's die in het verleden veel werden toegepast zijn R11 en R12; een veel toegepaste HCFK is R22.

Vanwege de sterke aantasting van de ozonlaag zijn met het Montreal Protocol in 1987 wereldwijde afspraken gemaakt om CFK's en HCFK's te vervangen door chloorvrije koudemiddelen. In de Europese Unie worden nu compressorkoelmachines met HFK's geleverd zoals R134a of mengsels van verschillende HFK's zoals R407c. Deze koudemiddelen tasten de ozonlaag niet aan, maar hebben wel een zeer sterk broeikas effect. Lekkage van 1 kg van het veel toegepaste koudemiddel R407c, heeft een broeikas equivalent van ca. 900 m³ aardgas.

CFK's en HFK's zullen dus volledig uitgefaseerd moeten worden. Daarom grijpt men terug naar natuurlijke koudemiddelen zoals ammoniak (R717), koolzuur (R744), butaan, propaan en ook water. Deze hebben echter weer eigen nadelen. Met water als koudemiddel moet de koelmachine onder vacuüm werken, en met koolzuur krijgt men juist te maken met extreem hoge drukken. Vervanging door duurzame opgewekte koude heeft dus hoge prioriteit¹⁰.

Koude in Amsterdam

Er is (nog) geen koudebeleid op stadsniveau geformuleerd. Er zijn geen kwantitatieve doelstellingen en er is weinig inzicht wat de gevolgen zijn van de (toenemende) koudevraag. Wel is er beleid op projectniveau. In de volgende paragrafen zijn de belangrijkste Amsterdamse elementen van dat beleid voor woningen en kantoren uitgewerkt.

Koudevraag: nieuwbouwwoningen

Het koudebeleid in woningen leidt nu tot veel discussie. Duidelijk is dat de koudevraag toeneemt. Deze trend is zichtbaar op allerlei gebied (zie ook in trams in auto, bus, trein, scholen enz). In de woningbouw groeit het aantal airco's snel. Te allen tijde worden voorkomen dat hiervoor goedkope, elektriciteitvretende 'bouwmarkt'-coolers voor worden ingezet. Duurzame koudeproductie (hoge temperatuurkoeling via bodemkoude) kan energetisch wel 35x zo efficiënt zijn! Het beleid omtrent koudevraag in woningen is vastgelegd in een notitie van de DMB, en is als volgt samengevat:

10 <http://www.energietech.info/koelmachine/theorie/koudemiddelen.htm>

- Verwacht wordt dat bij de huidige standaardwoning, die goed is gebouwd en ontworpen (conform bouwbesluit EPC van 0,6 en zonwering) er geen directe hitteprobleem is te verwachten en er geen aanvullende koudelevering noodzakelijk is (het binnencomfort ligt op acceptabel niveau).
- Voorkomen/ beperken van de koudevraag al meenemen in het ontwerpproces waarin minimaal de strengste categorie van de EPC wordt meegenomen.
- De verwachting is dat de koudevraag in de toekomst toeneemt waardoor het onderwerp koude als zodanig, en de besparing c.q. levering ervan, zal moeten worden geïntroduceerd in de lopende en toekomstige projecten.
- Voor die projecten waarin de ambitie klimaatneutraal (of energie of CO2 neutraal) wordt meegenomen zal de inzet een duurzame koudevoorziening zijn. Daarbij is het van belang dat de trias / dias energetica wordt gevolgd: 1 koudevraag beperken en 2 inzetten van duurzame (hoog temperatuur) koudelevering met duurzame bronnen¹¹

Koudevraag: kantoren

Er is geen gemeentelijk beleid op stadsniveau ten aanzien van de koudevraag van utiliteit (zorgvoorzieningen, ziekenhuizen, kantoren). De markt heeft wel verschillende labels om de energetische kwaliteit van gebouwen te waarderen. Er is echter geen totaal overzicht ten aanzien van duurzame opwek. In Amsterdam heeft NUON zelf het initiatief voor stadskoude genomen. De gemeente is betrokken bij het invullen van een aantal randvoorwaarden (bijvoorbeeld: leidingentracés).

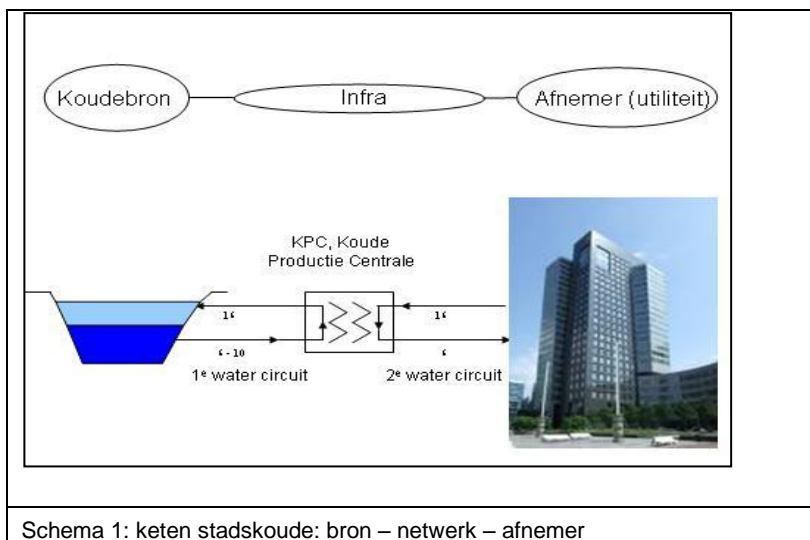
11 DMB, augustus 2009

IV. Stadskoude: de keten

De keten: bron – netwerk - afnemer

Stadskoude kan het beste worden omschreven met de ketenbenadering: bron – netwerk – afnemer.

Het netwerkwerk bestaat uit een eerste watercircuit, een tweede watercircuit en een koude productiecentrale. Het eerste watercircuit voert, meestal vanuit een koud meer, water aan van ongeveer 6 graden. De koude wordt, indien nodig, bijgekoeld in de KPC (Koude Productie Centrale) en aan het tweede watercircuit afgegeven. Het water uit het eerste circuit gaat direct retour naar het meer. De twee watercircuits zijn dus gescheiden. Het tweede watercircuit vervoert het koude water naar de afnemer, meestal grootschalige utiliteit. Zie onderstaand schema.



In de volgende hoofdstukken zullen de verschillende onderdelen van de keten apart worden behandeld.

Bronnen

Bronnen: COP-waarden bepalen duurzaamheid

Stadskoude is zoals gezegd geschikt om verschillende bronnen op aan te sluiten, zoals bijvoorbeeld: diepe meren, GOS/GET-installaties, WKO (Warmte Koude Opslag), verdampingskoeling, compressiekoeling, absorptiekoeling, chemische koeling, restkoeling

van industriële processen, centrifugaalkoeling, enz. Het heeft vanzelfsprekend altijd de voorkeur om de meest duurzame bron in te zetten (zie paragraaf jaarbelasting-duurkromme).

Daarvoor is nodig een objectieve maatstaf te hebben voor de energetische prestatie van een systeem. Bij warmte en koude wordt de COP-waarde gehanteerd. Deze maatstaf geeft het aantal eenheden energie weer dat nodig is om één eenheid koude/warmte te produceren. Een COP=3 geeft aan dat er één eenheid energie nodig is, om drie eenheden koude te maken. Let op: in dit geval wordt er geen koude uit het niets 'gemaakt'. Een COP waarde > 1 is mogelijk, omdat er koude *verplaatst* in plaats van gemaakt wordt. Zo kost het weinig (mechanische) energie om koude uit een diep meer te verplaatsen, terwijl de gewonnen koude zelf een hoge (thermische) energie inhoud heeft.

Peter Simoes heeft de prestaties van de verschillende koeltechnieken op een rij gezet en een range gegeven van COP waarden. Hij heeft hierbij rekening gehouden met de seizoensinvloeden. Hij komt tot het volgende overzicht:

Techniek	COP -waarde
Conventionele koeling voor air conditioning (centraal of per ruimte opgewekt)	1,5 – 3,5
Conventionele compressie icm aquifersystemen (WKO) ¹² , warmteproductie	3 - 6
Stadskoude door middel van efficiënte compressiekoeling	5 -8
Stadskoude met vrije koeling in combinatie met efficiënte compressiekoeling	8 – 25
Stadskoude, alleen met vrije koeling	25 - 40
Absorptiekoeling door middel van restwarmte (afhankelijk van warmtebron)	4 - 35
Schema: COP Waarden koeltechnieken ¹³	

Bovenstaand schema moet met de nodige voorzichtigheid worden toegepast. Zo wijst de DMB erop dat WKO systemen een veel hogere COP waarde kunnen bereiken (tot COP = 18) als de juiste technische maatregelen worden genomen. Ook wordt erop gewezen dat de koudeproductie van een WKO systeem een hogere COP waarde heeft ten opzichte van de warmteproductie (COP=10 ten behoeve van koude). Uiteindelijk zal er dus een integrale beoordeling moeten komen van het gehele systeem waarbij alle factoren (verhouding warmte/koude vraag, temperatuur van de benodigde koeling, piekvermogen enz.) worden gewogen.

12 De beoordeling van WKO is toegevoegd in de tabel van Simoes. Bronnen: 1] Energiegids 2009, pag 25 en verder. De branche zelf geeft in het artikel een waarde aan van 4 á 6. 2] Rabobank, mei 2008, geeft 3 á 5; 3] www.milieucentraal.nl geeft 3 á 5.

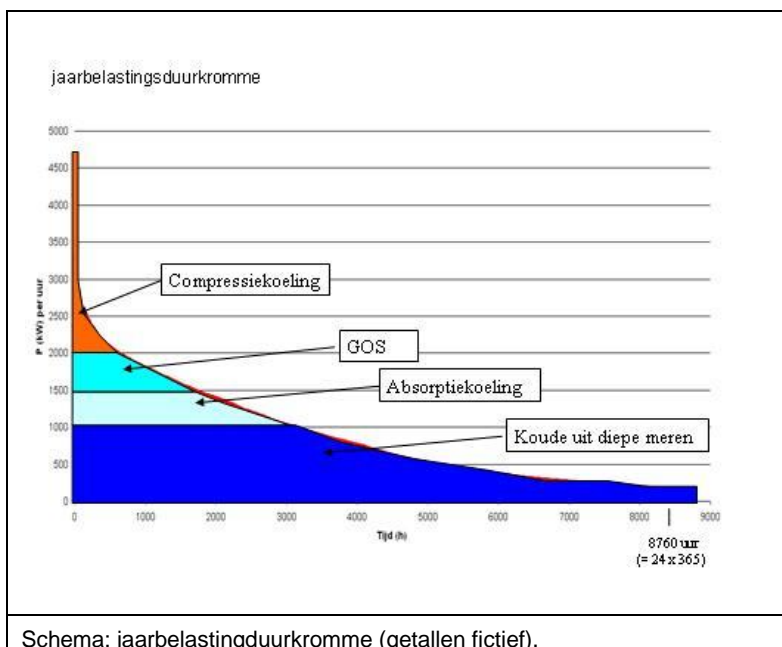
13 Peter Simoes, 2007, tabel 2, pag 26

Bronnen: inzet met behulp van jaarbelastingduurkromme

De juiste combinatie om de koelvraag duurzaam in te vullen door middel van de beschikbare bronnen kan worden bepaald met behulp van de 'jaarbelastingduurkromme'. Deze grafiek geeft op x-as het aantal leveringsuren (totaal: $365 \times 24 = 8.760$ uren), met per leveringsuur het benodigde vermogen in MW op de y-as. De leveringsuren staan gesorteerd van hoog naar laag. De oppervlakte onder de curve is het totale aantal MWh thermisch.

Een standaard curve geeft weer dat er door het hele jaar een constante, maar in vermogen beperkte koelvraag is. Deze kan het best worden ingevuld door een duurzame bron met een constant vermogen ('basislast'). Op een klein aantal momenten (bijvoorbeeld op een warme zomerdag) is er een piekvraag. Deze kan het beste worden voldaan met behulp van snel bij te schakelen koelinstallatie, bijvoorbeeld conventionele compressiekoeling.

In onderstaand voorbeeld wordt de basislast ingevuld met behulp van de duurzame koude uit een diep meer. Daarna wordt nog een koude toegevoegd met een grootschalige absorptiekoelmachine en de koude van de GOS-installatie. Aan de piekvraag wordt tenslotte voldaan met behulp van elektrische compressiekoeling.



De precieze beoordeling van de inzet van de (meest duurzame) bronnen vergt veel technische expertise, en is afhankelijk van de situatie ter plekke. In het algemeen geldt dat 'vrije' of 'natuurlijke' koeling altijd de voorkeur heeft boven elektrische koeling, en dat

koeling uit de diepe meren een zeer duurzame vorm van koeling is. In de paragraaf over 'duurzaamheid, betaalbaarheid en betrouwbaarheid' wordt hierop nog verder ingegaan.

Bronnen: buffers

De duurzame koudeproductie en de koelvraag lopen meestal niet synchroon. Het is goedkoop om in de winter koude te produceren, maar de koelvraag is hoog in de zomer. Een buffer kan deze tijd overbruggen. De Amsterdamse bodem is erg geschikt voor het opslaan van koude in aquifers. Het is mogelijk om de diepe meren in de winter als bron te gebruiken, en de overvloed aan koude in de bodem op te slaan. Deze kan dan in de zomer worden ingezet voor koeling. Stadskoude kan ondersteunend zijn bij het oplossen van de eventuele tekort aan koude in WKO systemen.

Bronnen: diepe meren de belangrijkste duurzame koudebron

De belangrijkste duurzame bron voor stadskoude zijn diepe meren. Deze worden daarom apart behandeld.

1. Fysieke kenmerken meren

Meren die geschikt voor duurzame koudelevering moeten aan een aantal kenmerken voldoen:

- Grootte: de plas moet voldoende groot zijn om genoeg koude te bevatten, een oppervlakte van enkele tientallen hectaren voldoet;
- Diepte: de plas moet voldoende diep zijn (ca 25 meter), omdat koud water naar de bodem zakt. Reden hiervan is het natuurkundig fenomeen dat het soortelijk gelijk gewicht van water op zijn hoogst is bij 4 graden;
- Nabijheid vraag en aanbod. Vanwege de hoge kosten van de infrastructuur moet het meer vlakbij de vraag, dus een lokatie met veel utiliteit liggen.

2. Capaciteit koude in meren

Het bepalen van de 'maximale koelcapaciteit' van een meer kan niet eenvoudig in één getal worden uitgedrukt. Het is namelijk afhankelijk van vele factoren, zoals bijvoorbeeld het seizoen van gevraagde koeling, de temperatuur van de gevraagde koeling, het piekvermogen enz. Een voorbeeld: de maximale capaciteit van een meer is oneindig groot als er koeling in de winter wordt gevraagd, bijvoorbeeld ten behoeve van een datacentrum. De koelcapaciteit van een meer in de zomer is daarentegen veel beperkter. De totale geleverde hoeveelheid koeling van een meer in een heel jaar is dus afhankelijk van de relatie tussen het moment van de koelvraag en de levering.

Voor de koeling in de zomer is het van belang dat het meer groot en diep is, zodat de koudebel door het jaar in stand blijft. De meren rondom Amsterdam hebben een grote koelcapaciteit in de orde grootte van enkele tientallen Megawatt.

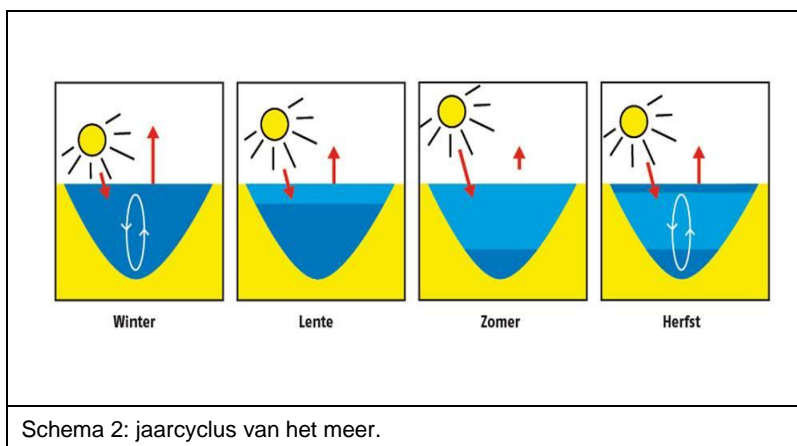
3. Temperatuurverloop en de invloed van stadskoude

De temperatuur van een meer is afhankelijk van de diepte. Koud water van vier graden zakt naar de bodem, warm water blijft boven drijven. Stadskoeling maakt hiervan gebruik, door het diepe, koude water op te pompen. Het lozen van het opgewarmde retourwater heeft een beperkte invloed op de temperatuur van het meer.

De cyclus over het jaar ziet er als volgt uit:

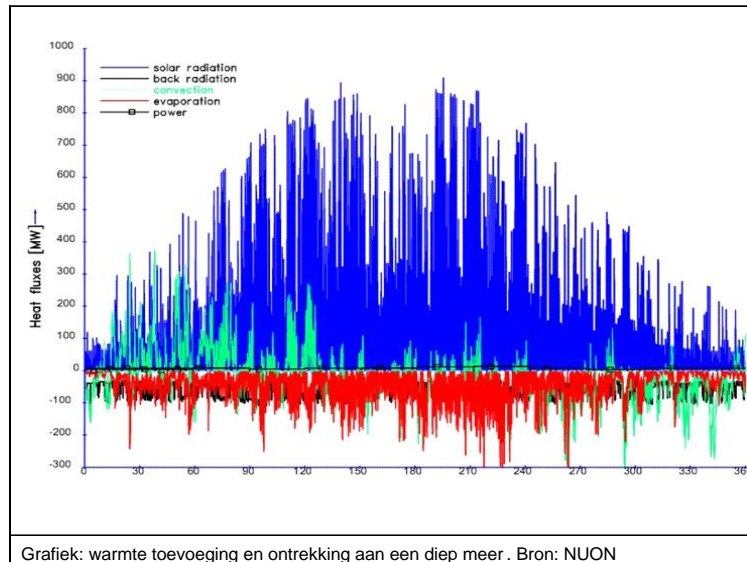
- In de winter is het gehele meer koud. Er is weinig koelbehoefte en er is geen begrenzing aan de hoeveelheid koude die het meer kan leveren. Het koude water zakt naar de bodem;
- In de lente warmt de zon de bovenste laag op. De koelbehoefte is nog steeds laag, het meer bevat voldoende om deze te kunnen leveren.
- In de zomer warmt de bovenste laag op, terwijl diep in de plas het water koud blijft. De omvang van deze laag is bepalend voor totale hoeveelheid te leveren koude.
- In de herfst ontstaat weer een koude bovenlaag. Deze zakt en er ontstaat een verticale stroming in het meer. De hoeveelheid koude in het meer neemt weer toe.

In het onderstaande plaatje is deze cyclus weergegeven.



De temperatuursverhoging als gevolg van stadskoude bedraagt ongeveer 0,1 a 2 graden. Dat is beperkt ten opzichte van andere factoren. Zo is de natuurlijke opwarming van een meer in de zomer door de zon vele malen groter. De vraag naar de invloed van stadskoude op de temperatuur van een meer, gaat daarom over het toegevoegde effect dat stadskoude heeft bovenop de bestaande warmtebronnen.

In onderstaande diagram is door NUON de verhouding weergegeven tussen warmtetoevoegingen (boven de X-as, zon, convectiestromen, warmtelozing) en onttrekkingen (onder de X-as, convectie, verdamping) weergegeven. De invloed van warmtelozing (de zwart geblokte lijn vlak boven de X-as) is nauwelijks zichtbaar.



Grafiek: warmte toevoeging en onttrekking aan een diep meer. Bron: NUON

4. De blauwalgdiscussie en stadskoude.

Het oppervlaktewater in Nederland bevat teveel blauwalgen. De overmatige groei wordt veroorzaakt door een te hoge concentratie van nutriënten (stikstof en fosfaten) als gevolg van lozingen van de industrie en landbouw. Stijging van de temperatuur van het meer, leidt tot hogere algengroei. Dit kan in de zomer leiden tot een zwemverbod.

Producent, waterschap en gebruikers hebben ieder een eigen visie op de groei van blauwalgen en de relatie tot stadskoude. Voor een uitgebreide bespreking zie bijlage 2. In deze paragraaf worden de hoofdlijnen van de problematiek geschetst.

Stadskoude kan op twee manieren effect hebben op algengroei van een meer.

- **Temperatuurverhoging.** De betrokken partijen zijn het eens dat de feitelijke temperatuurverhoging als gevolg van de introductie van stadskoude 0,1 tot max 2 graden bedraagt. Partijen verschillen echter van mening over de effecten op de ecologie en de algengroei, de waardering van die effecten en over de normering van de temperatuurverhoging.
- **Grootschalig rondpompen.** Het grootschalig rondpompen heeft twee gevolgen: Ten eerste worden de fosfaten uit diepe lagen van het meer geloosd op de oppervlakte. Hierdoor ontstaat er algengroei. Partijen zijn het eens over de grootte van dit effect, maar zijn het niet eens over de normstelling en de procedures. Ten tweede: het micro-organismen worden uit het water verwijderd, omdat het ingenomen water eerst wordt gefiltreerd. Er is nog weinig bekend over het effect hiervan.

Algengroei wordt op verschillende bestreden, bijvoorbeeld: een bellenscherm op de bodem, het uitstrooien van kleikorrels, het injecteren van zuurstof of waterstofperoxide, het uitzetten driehoeksmosselen enz. In de discussie over algenbestrijding is de werking

van het bellenscherm controversieel. Waterschappen stellen dat het een effectief instrument is, en dat de drijfzagen van de blauwalgen goed worden bestreden. NUON stelt dat de oorzaak van het probleem niet wordt aangepakt. Alle partijen erkennen dat het in ieder geval een nadelig effect heeft op de stadskoude, omdat de koudebel kleiner wordt.

Partijen erkennen dat oplossingen mogelijk zijn. Inhoudelijke en procedurele onenigheid bemoeilijken echter een vlotte voortgang. Wellicht kan de gemeente hierbij een rol vervullen.

Netwerk

Netwerk: beschrijving

Het netwerk bestaat uit een 1^e watercircuit, een koudeproductiecentrale (KPC), een 2^e watercircuit en tenslotte een aansluiting bij de afnemer.

Het 1^e watercircuit dient om koud water uit de koude bron (een diep meer) te pompen. In de koudeproductiecentrale (KPC) wordt vervolgens de koude overgebracht op het 2^e watercircuit. Het water uit het primaire en secundaire circuit mengen dus niet. De buizen van het koudenetwerk hebben een diameter van ongeveer 60 cm in doorsnede (zie foto). De KPC is een gebouw, ter grootte van enkele huizen. Het ruimtebeslag bij de afnemer is beperkt tot de koudewisselaar.



Foto: primaire en secundaire netwerk: buizen met diameter van > 60 centimeter. .



Foto: Zuidas: KPC, koudeproductiecentrale heeft de grootte van enkele huizen. Bij de afnemer in het gebouw wordt er juist ruimte bespaard.

Als de invoertemperatuur te hoog is (bijvoorbeeld 8 a 10 graden), dan wordt er in de KPC bijgekoeld tot zes graden, meestal met behulp van compressiekoeling. De werking hiervan is vergelijkbaar met een koelkast. Eerst wordt er koude gemaakt met een

(compressie)machine. De restwarmte hiervan moet worden weggekoeld met een condensor, net zoals bij een koelkast. Bij een koelkast wordt hiervoor lucht gebruikt, in de KPC kan echter met water uit het meer worden gekoeld. Er is dan minder elektrische energie nodig ten opzichte van een luchtgekoelde compressiekoeling. Wellicht ten overvloede: het water uit het meer wordt dus twee keer gebruikt: ten behoeve van de koude in het tweede watercircuit, én ten behoeve van het afkoelen van de condensor.

Netwerk: kenmerken

Koudenetten hebben drie significante kenmerken:

- Groot fysiek ruimtebeslag. Door het kleine temperatuurverschil (6-16 graden) is de koude-inhoud van een m³ beperkt. Daarom moeten er grote hoeveelheden water (het zogenaamde debiet) worden verpompt, en zijn er grote leidingen nodig.
- Collectiviteit. Stadskoude is door de hoge kapitaalslasten van het netwerk pas rendabel voor gebieden met een grote koelvraag.
- Nabijheid vraag en aanbod. Stadskoude heeft meestal een koud meer als duurzame koudebron (hoewel dat niet noodzakelijk is). Het netwerk is daarom sterk plaatsgebonden, in tegenstelling bijvoorbeeld tot een gas- of elektriciteitsnetwerk.

Netwerk: groei door rijgen van kralen

Een netwerk met een duurzame bron bedient een bepaald gebied of een 'eiland' met meerdere afnemers. Het verbinden van zelfstandige eilanden tot een groter netwerk ('het rijgen van kralen') heeft energetische en financiële voordelen. De bronnen kunnen maximaal worden ingezet, de pieken en dalen uit beide systeem kunnen tegen elkaar uit worden gemiddeld, er hoeft minder backup vermogen te worden gebouwd.

Deze systematiek kan op alle niveaus worden toegepast. Op individueel gebouw niveau werkt het als volgt. Eerst wordt de binneninstallatie van een gebouw ontworpen op een systeem van lage temperatuur koeling, en wordt een willekeurige bron gebruikt voor de koudeproductie. Pas in een later stadium wordt het gebouw aangesloten op het 2^e watercircuit. Op gebiedsniveau wordt dezelfde systematiek toegepast. Eerst worden bepaalde gebieden aangesloten op stadskoude, in een later stadium worden de gebieden aan elkaar gekoppeld.

Netwerk: stadskoude als basis voor een grootstedelijk netwerk

Stadskoude is vanwege het grote temperatuurbereik, hoge capaciteit en grote betrouwbaarheid uitermate geschikt als aanvulling en/of backup voor andere technieken, zoals bijvoorbeeld WKO. Stadskoude neemt hierbij een vergelijkbare rol in als het hoogspanningsnet van Tennet bij elektriciteit, of de stadswarmte bij warmtelevering. Stadskoude kan de prestaties van WKO op drie manieren verbeteren:

- leveren van piekvoorziening. Een WKO installatie gebruikt elektriciteit- of gas om in de piekvoorziening te voorzien. Als de piek door stadskoude kan worden ingevuld, wordt echter een veel beter energetisch rendement gehaald.
- regenereren van bronnen. Eén van de eisen van WKO systemen is dat er een evenwicht in warmte en koude moet zijn. Een onbalans moet daarom altijd worden aangevuld. Er is ter plekke niet altijd genoeg koude in de winter om de balans te herstellen. Stadskoude kan deze benodigde hoeveelheid koeling wel altijd leveren, omdat meren in de winter een oneindig grote capaciteit hebben. Als de meren te weinig koude in de zomer bevatten, kan met het regenereren van de bronnen tot de winter worden gewacht.
- Functioneren als backup voorziening. Een individuele installatie kan om verschillende – op individueel niveau veroorzaakte - redenen niet functioneren. Stadskoude kan te allen tijde als back-up functioneren, hetgeen de betrouwbaarheid van het gehele systeem vergroot.

Afnemers

De koudemarkt is op basis van de temperatuur in twee groepen te verdelen. Stadskoude is in staat beide markten te bedienen. De markten zijn:

- lage temperatuurkoeling (LT koeling, 6 – 16 graden) voor proceskoeling (datacentrales, koelhuizen) en ruimtekoeling ten behoeve van utiliteit (kantoren, ziekenhuizen). Een algemene beschrijving van deze grootverbruikers is niet mogelijk, omdat iedere (groot)verbruiker uniek is in grootte, temperatuur van de benodigde koude, zekerheid van levering enzovoorts.
- hoge temperatuurkoeling (HT koeling, van 17 – 25 °C) ten behoeve van comfort- en ruimtekoeling, voornamelijk in woningen. Hoog temperatuurkoeling wordt ook wel topkoeling genoemd. Woningen hebben een kleine koudevraag op relatief hoge temperatuur (rond de 20 graden). Koudelevering met stadskoude ligt dus niet direct voor de hand. Toch is het mogelijk dat stadskoude aan woningcomplexen levert, bijvoorbeeld met behulp van de retourbuis (16 graden).

Tot slot: naast directe levering zoals hierboven omschreven, vormt stadskoeling de basisinfrastructuur voor het grootstedelijk netwerk (zie voorgaande paragraaf)

Beoordeling keten: de kracht van collectiviteit

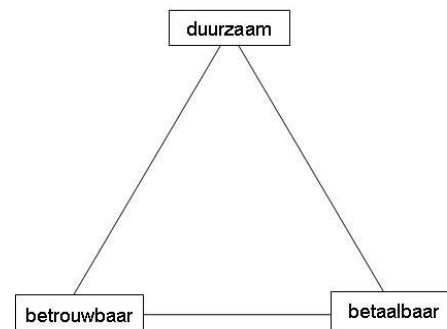
De kracht van collectiviteit

Beoordeling van de energievoorziening gebeurt altijd aan de hand van drie onomstreden basiscriteria:

- Betrouwbaarheid;
- Duurzaamheid;
- betaalbaarheid.

Stadskoude scoort op al deze criteria hoog. Belangrijke verklaring hiervoor is dat collectieve systemen bijna altijd efficiënter zijn dan een aaneenschakeling van individuele systemen.

Redenen hiervoor zijn:



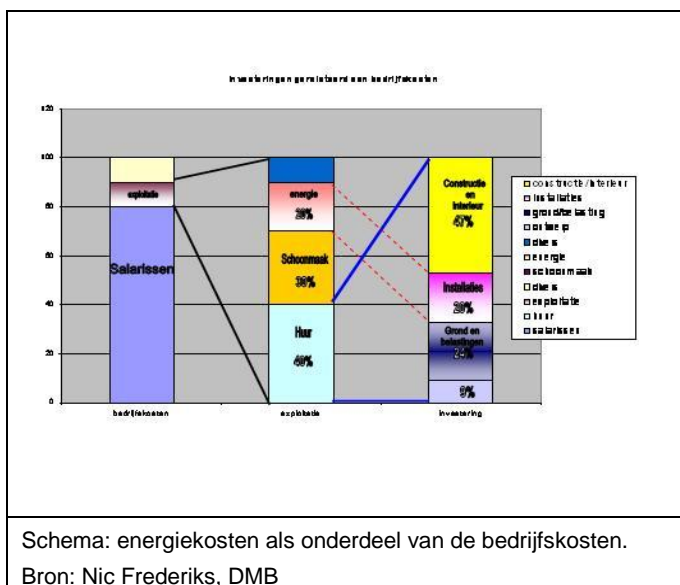
In de eerste plaats heeft een collectieve infrastructuur per definitie twee grote voordelen ten opzichte van individuele systemen.

- de pieken en dalen kunnen tegen elkaar worden uitgemiddeld;
- individuele back up installaties kunnen worden vervangen door één grote back up installatie, waarbij het vermogen van de collectieve back up lager is dan de som van de individuele backup installaties.

In de tweede plaats zijn de milieudoelstellingen (CO₂ reductie, uitfasering koelmiddelen) beter georganiseerd. Er is één professionele organisatie die zich volledig op de duurzame productie van koude richt, net zoals bijvoorbeeld bij gas-, elektriciteit-, water- of warmtelevering.

In bestaande organisatie vallen milieubelangen weg tegen de core-business van die organisatie. Er is nauwelijks (financieel) belang om op ruimtekoeling (dan wel verwarming) te besparen. De grootste kosten zijn personeelskosten (+/- 80%); bijna alle andere kosten (ook die van het gebouw, het ontwerp van het gebouw enz.) zijn marginaal. De uiteindelijke energielasten bedragen minder dan 2% van de totale uitgaven. Een besparing van 50% op het energieverbruik levert op de totale uitgave slechts een voordeel van 1% op. In onderstaand schema is dat inzichtelijk gemaakt door een onderscheid te maken naar totale bedrijfskosten, exploitatie en investeringen¹⁴.

14 DMB, Nic Frederiks



Betrouwbaarheid: hoog

Stadskoude is een uitermate betrouwbaar systeem, met veelal een betrouwbaarheid van > 99%. De betrouwbaarheid geldt het hele systeem (een gebied), en dus niet één enkel gebouw. Redenen hiervoor zijn de robuustheid (geen bewegende delen), en de collectiviteit. Niet ieder gebouw hoeft zijn eigen systeem, inclusief backup te hebben maar outsourced de koudeproductie aan een professionele organisatie die helemaal is ingericht op koudeproductie.

Duurzaamheid: hoog

Stadskoude is bijzonder duurzaam. Hiervoor zijn een aantal redenen, die samenhangen met de collectiviteit van het systeem.

- Energetische prestatie. Er worden hoge COP waarden gehaald gedurende de gehele looptijd van het project;
- Flexibiliteit en innovatie: Het is mogelijk verschillende bronnen op het systeem aan te sluiten. De meest duurzame bron, meestal een diep meer, kan voorrang op het net krijgen. Als deze bron weg zou vallen (bijvoorbeeld omdat de meren in de winter niet kunnen regenereren), dan nog is centrale elektrische opwek van koude efficiënter dan individuele opwek van koude.
- Bij nieuwe bronnen hoeft niet te worden ingegrepen op nieuwe installaties binnen een gebouw.
- Efficiency. Grote machines produceren efficiënter koeling dan kleine. Vanzelfsprekend moet dat wel worden afgewogen tegen de energetische kosten van het transport;
- Aansluiten bestaande bouw: bestaande bouw kan worden aangesloten door de lage temperaturen.

- Uitfasering koelmiddelen. Een collectief systeem gebruikt minder koelmiddelen dan veel kleine systemen samen.
- Ecologische aspecten op het gebruik van de bronnen: te beoordelen.

Betaalbaarheid afnemer

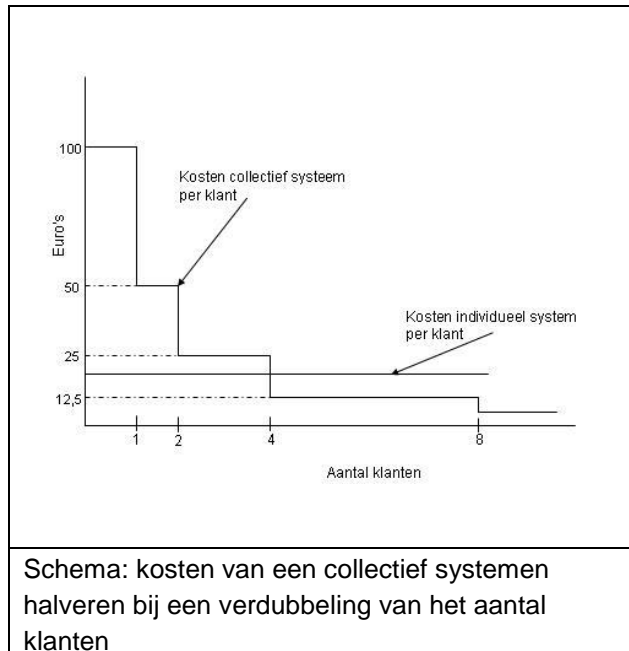
Er is geen wettelijk kader voor prijsvorming. Er is sprake van stevige marktwerking. De koude-aanbieder onderhandelt met de afnemer, die deskundig is én bovendien een alternatief heeft in de vorm van compressiekoeling, WKO of een andere technologie. De stadskoude-aanbieder zal daarom altijd proberen goedkoper te zijn dan deze alternatieven. De aanbieder heeft echter een zeer hoge instapdrempel.

Betaalbaarheid aanbieder

Het is voor de aanbieder van stadskoude van groot (financieel) belang van tevoren inzicht te hebben in het aantal klanten dat daadwerkelijk aangesloten kan worden. De (gemeentelijke) overheid hier een regisserende rol vervullen om het collectieve systeem mogelijk te maken.

De totale kosten van de aanbieder liggen grotendeels vast en worden voornamelijk bepaald door de infrastructuur ten behoeve van een geheel gebied. De marginale kosten, de extra aansluiting van één afnemer op de stadskoeling, zijn daarentegen zeer beperkt. De opbrengsten nemen echter wel sterk toe met iedere extra aansluiting. De aanbieder van koude moet daarom steeds een afweging maken tussen de prijsvorming voor één consument én het verwachte aantal aan te sluiten consumenten in de toekomst.

Het is echter moeilijk vooraf een inschatting te maken welke klanten wel en niet aan zullen sluiten. In de onderstaande grafiek is dat schematisch sterk vereenvoudigd weergegeven. In dit voorbeeld halveren de vaste kosten voor de klant bij verdubbeling van het aantal klanten. De aanbieder van collectieve systeem kan pas bij meer dan vier klanten concurreren met een individueel systeem.



V. Stadskoude in Amsterdam

Bronnen: diepe meren rondom Amsterdam

Amsterdam: vele diepe meren rondom de stad

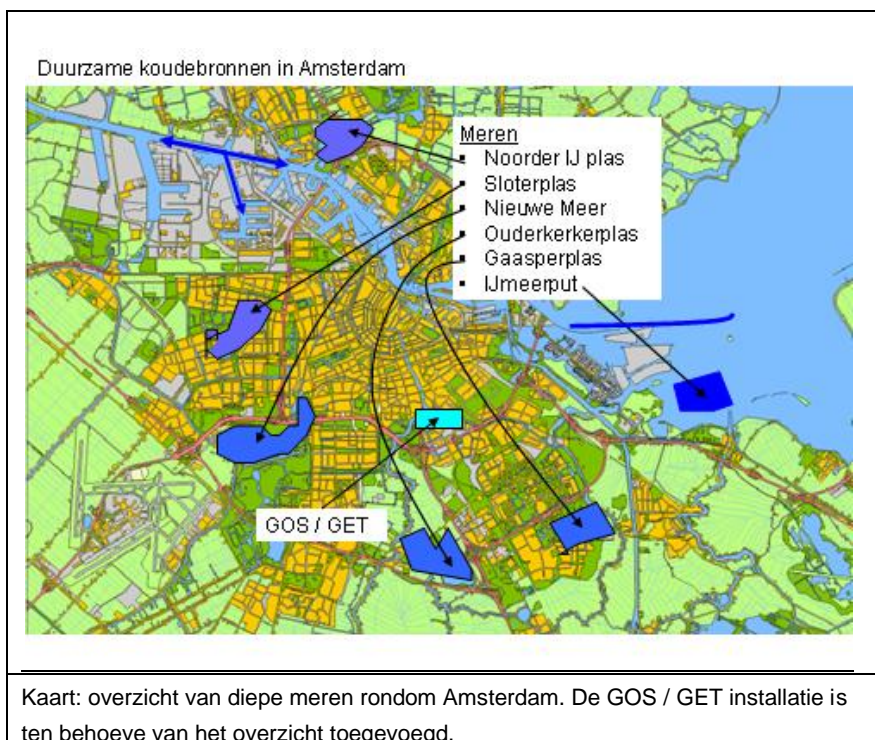
Amsterdam is een stad aan, of zelfs in, het water. Al het water kan worden gebruikt voor duurzame koeling. Het is *een unique selling point* voor Amsterdam bij het verduurzamen van de energievoorziening.

Amsterdam bevindt zich in de gelukkige omstandigheden dat er een aantal diepe meren, veelal zandwinputten, rondom de stad liggen die in principe allen geschikt zijn als koudebron. De plassen zijn:

- De Nieuwe Meer is een smal, langwerpige meer ten zuidwesten van Amsterdam, grenzend aan het Amsterdamse Bos. Het verbindt het riviertje De Schinkel in Amsterdam en de Ringvaart van de Haarlemmermeerpolder. Vanaf 1956 werd de Nieuwe Meer aan de noordzijde sterk vergroot voor zandwinning ten behoeve van de Westelijke Tuinsteden. Het meer is ongeveer 30 meter diep.
- De Ouderkerkerplas is ook een voormalige zandwinput, tussen Ouderkerk aan de Amstel en Amsterdam Zuidoost. Het is gegraven voor de aanleg van de A9. Later is er een grote hoeveelheid betonafval gestort. De plas is meer dan 40 meter diep, waardoor er zout kwelwater de plas in stroomt. Het water is hierdoor brak, en vriest 's winters niet dicht.
- De Gaasperplas ligt tussen Weesp en de Bijlmermeer. Het is ontstaan door zandwinning ten behoeve van de bouw van Amsterdam Zuidoost. Het water is ongeveer 35 meter diep.
- De Sloterplas ligt midden in de Westelijke Tuinsteden. De plas werd gegraven tussen 1948 en 1956 ten behoeve van diezelfde Westelijke Tuinsteden. Het meer is circa 30 meter diep.
- De IJmeerput is een grote zandwinput, gelegen ten westen van de IJmeergeul en ten noorden van Muiden. De put is oorspronkelijk tot maximaal 30 meter diep; momenteel 10-15 m diep. De put is in het verleden namelijk gebruikt om onexploitabel zand en slib in te storten. De IJmeerput is bovendien ondieper geworden door het inzakken van de randen en door sedimentatie van zwevend slib¹⁵. De IJmeerput is dus zeker geen voorkeurslokatie.
- De NoorderIJplas bestaat uit een diep en een ondiep gedeelte. Medio 2007 besloot de stadsdeelraad tot uitvoering van het voorkeursscenario uit een ecologisch

15 Min Verkeer en Waterstaat, sept 2005, fig 6, pag 49

onderzoeksrapport en zijn er plannen om in dat kader het meer ondieper te maken¹⁶. Om deze reden valt deze plas dus af.



Organisatie taken en bevoegheden m.b.t. de meren

Er zijn vele partijen betrokken bij het gebruik van de meren: water- en recreatieschappen, staatsbosbeheer, gemeentes, de provincie, rijkswaterstaat enz. De verdeling van verantwoordelijkheden is per zandwinput anders georganiseerd. In het algemeen geldt dat de waterschappen verantwoordelijk zijn voor de waterkwaliteit, en dus de vergunning voor de waterlozing en –ontrekking geven. De recreatieschappen zijn, in zoverre betrokken, verantwoordelijk voor recreatie en het beheer.

De gemeente Amsterdam is eigenaar van de bovengenoemde zandwinputten, behalve van de Ouderkerkerplas en de IJmeerput. De verantwoordelijke waterschappen zijn AGV (alle putten, behalve Nieuwe Meer en IJmeerput) en Rijnland (Nieuwe Meer). Het recreatieschap Groengebied Amstel is verantwoordelijk voor de Gaasperplas en de Ouderkerkerplas. Het GGA is gebaseerd op een gemeenschappelijke regeling van de

¹⁶ Grontmij, Waternet, Gemeente Amsterdam, februari 2007

provincie Noord Holland, en de gemeentes Amsterdam, Amstelveen, Diemen en Ouder-Amstel¹⁷. In het onderstaande schema zijn de belangrijkste kenmerken samengevat.

Plas	Diepste punt	Opp ha	Eigenaar, publiek	Eigenaar Privaat	Water-schap	Recreatie-schap
Gaasperplas	30	65	A'dam	A'dam, erfpacht GGA	AGV	GGA
Ouderkerkerplas	50	75	Ouderkerk a/d Amstel	SBB, erfpacht GGA	AGV	GGA
Nieuwe Meer	30		A'dam	A'dam	Rijnland	x
Sloterplas	35	89	A'dam	A'dam	AGV	x
NoorderlJplas	30	62	A'dam	A'dam	AGV	x
IJmeerput	10 a 15	x	x	X	x	x

Schema: diepe meren rondom Amsterdam: diepte, oppervlakte¹⁸ eigenaar en beheerder
 AGV = waterschap Amstel-, Gooi- en Vechtstreek; GGA= Groengebied Amstelland; SBB = Staatsbosbeheer; x = nog te onderzoeken

Mogelijkheden voor stadskoude en totale capaciteit

De zandwinputten in Amsterdam zijn allemaal geschikt voor koudelevering en er kunnen grote vermogens aan koude leveren. Het is niet te verwachten dat er ook overal stadkoeling komt, omdat de vraag naar koeling daarvoor te klein en/of weinig geconcentreerd is. De mogelijkheden per meer zijn hieronder samengevat:

Plas	Te beleveren gebied	Te leveren vermogen	Realisatie
Gaasperplas	Zuidoost	X	Mogelijk, middenlange termijn
Ouderkerkerplas	Zuidoost	60 MWth = 61 Gwh	in gebruik, uitbreiding mogelijk
Nieuwe Meer	Zuidas	75 Mwth = 172. Gwh	in gebruik, uitbreiding mogelijk
Sloterplas	Teleport	X	Mogelijk, middenlange termijn
NoorderlJplas	Sd Noord	X	Nee
IJmeerput	Yburg	X	Mogelijk

Schema: diepe meren rondom Amsterdam met kenmerken tbv koudewinning

De maximale potentie is veel groter dan het huidige gebruik. Zo is al onderzoek gedaan naar de Nieuwe Meer, deze zou volgens NUON, als aan alle voorwaarden wordt voldaan, tot 120 MW kunnen leveren. Toevoeging van de andere plassen (Gaasperplas,

17 GGA, 2007

18 Waternet, april 2006, pag 34

Sloterplas) zouden weer vele tientallen MW aan koude opleveren. De huidige capaciteit kan dus zeker verdrie- of viervoudigen.

Eigendom van de koude in het water

Er is momenteel discussie over het eigendom en de financiële vergoeding om gebruik te mogen maken van de koude uit de diepe meren. De gemeente heeft hierover nog geen positie ingenomen, maar voor middenlange termijn is dat wel van belang. Er zijn twee richtingen.

Koude als collectief goed

Volgens de eerste richting is de koude een collectief goed, en (dus) van de overheid. Hierbij kan een parallel worden getrokken met delfstoffen, waarvan de winning in de mijnbouwwet is geregeld. Deze wet bepaalt dat alle delfstoffen onder de 500 meter eigendom van de staat zijn. De opbrengsten moeten volgens deze redenering ten goede komen aan de gemeenschap. Stadskoude is lokaal georiënteerd en dus is de koude van de lokale overheid (gemeente of waterschap).

De overheid stelt de prijs van de koude vast. Hiervoor zijn verschillende methodes, zoals bijvoorbeeld: een veiling, een concessie, een prijs per GJ. Een andere mogelijkheid is om een residuele prijs te rekenen voor het gebruik van de bron, gelijk aan de residuele methode van grondwaardebepaling.¹⁹ Hierbij wordt de grondprijs vervangen door de prijs van koude. De prijs wordt niet bepaald door de schaarste, maar door de werkelijk gemaakte kosten. De methode werkt als volgt. De gemeente verleent een concessie voor het leveren van stadskoude aan een energieleverancier. Deze mag de gemaakte kosten in rekening brengen én een redelijke winst maken. De prijs van koude water wordt berekend door opbrengsten te verminderen met de gemaakte kosten. Als de uitkomst van deze rekensom negatief wordt, dan worden de kosten van het koude water negatief. Dat wil zeggen dat de gemeente het project met een bijdrage zou moeten subsidiëren. De residuele methode is in deze fase van de besluitvorming nog een brug te ver. Er is geen onderzoek gedaan naar de bevoegdheid van de gemeente om een dergelijk systeem in te voeren, er is geen inzicht in de negatieve of positieve financiële gevolgen voor de gemeente. Zo heeft NUON mondeling te kennen gegeven dat de projecten financieel weinig rendabel zijn, en alleen met het oog op de toekomst worden uitgevoerd.

Koude als vrij goed

De tweede richting stelt dat het gebruik van koude een 'vrij goed' is, net zoals het gebruik van de wind of de zon ten behoeve van duurzame elektriciteitsproductie. Een voorbeeld dat dicht bij stadskoude past, is het koelwater dat wordt gebruikt ten behoeve van van elektriciteitscentrales of de papierindustrie. Het gebruik van het goed is vrij en de overheid

19 Maarten de Boer, mondeling

vraagt geen financiële vergoeding. Wél zijn er regels ten behoeve van de kwaliteit (temperatuur) van het te lozen water.

Deze systematiek werkt goed zolang de hoeveelheid koude niet schaars is. Als de vraag naar koude toeneemt en het goed fysiek ook daadwerkelijk schaars wordt, dan zal de overheid toch een verdelingsmechanisme moeten vastleggen. Dat kan door middel van regelgeving (bv: 'wie het eerst komt, wie het eerst maalt') of alsnog door het instellen van een prijs.

Bronnen: huidige koudewinning uit Nieuwe Meer en Ouderkerkerplas

Er worden momenteel twee plassen gebruikt voor stadskoude: de Nieuwe Meer en de Ouderkerkerplas. Deze worden de volgende paragrafen ten behoeve van het overzicht kort weergegeven. De informatie is elders in het rapport al aan de orde geweest.

De Nieuwe Meer:

De Nieuwe Meer is eigendom van de gemeente Amsterdam. De vergunning voor het gebruik van het oppervlaktewater valt onder het Hoogheemraadschap Rijnland. NUON wint sinds 2004 koude uit de plas ten behoeve van de Zuidas, en heeft een aanvullende vergunning bij het Hoogheemraadschap aangevraagd voor 75 MW productiecapaciteit. Hiermee kan de KPC 172 GWh aan koude produceren. De hoeveelheid te verpompen water is fors: nu al wordt 1/3 van het water in het meer rondgepompt.

De blauwalgen vormen van oudsher een probleem in de Nieuwe Meer. In 1993 is er daarom een beluchtinginstallatie geplaatst. De beluchtinginstallatie staat van 1 april tot 1 oktober aan. Er ontstaat een bellenscherm waardoor er verticale stroming in het water ontstaat en de algen naar beneden worden gezogen. Hier is minder licht, waardoor de algengroei afneemt. Sinds de installatie in werking is getreden, is de overlast sterk afgenomen²⁰. Het bellenscherm is dus een effectieve en bewezen methode om de overlast van algen te beperken.

Het bellenscherm is alleen symptoombestrijding. De oorzaak van de algengroei, namelijk een hoge concentratie aan fosfaten, wordt er niet door bestreden. De concentratie van fosfaat zal in de Nieuwe Meer namelijk niet dalen, omdat er vanuit de Ringvaart een continue toevoer is.

Het bellenscherm tast echter de stratificatie in het meer aan, waardoor de grootte van de koudebel afneemt en er minder koude kan worden gewonnen. Er zijn aanpassingen en

20 http://www.rijnland.net/wat_doet_rijnland/water_en_recreatie/plassen_en_meren/de_nieuwe_meer

andere oplossingen mogelijk, maar de meeste hiervan zijn nog in een experimenteel stadium (zie bijlage 2).

Tijdens de voorbereiding hebben de partijen – NUON, bewoners, het Waterschap – in goed overleg activiteiten op elkaar afgestemd. De laatste jaren is de samenwerking minder goed. Zowel NUON als de omwonenden hebben beroep aangetekend tegen de vergunning (maatwerkbesluit). In de rechtszaken spelen praktische (bv: hoe hoog is de feitelijke opwarming van het meer) en juridische elementen (bv: welke normen gelden voor waterkwaliteit, hoe bindend zijn deze normen en wie heeft de bevoegdheid deze vast te stellen) een rol. Het Hoogheemraadschap is bereid om alle mogelijke oplossingen te bekijken, maar wil eerst de uitslag van de rechtszaken afwachten voordat nieuwe stappen worden genomen. De gemeente kan hier een stimulerende en bemiddelende rol spelen.

De Ouderkerkerplas:

De Ouderkerkerplas is eigendom van Staatbosbeheer. De plas wordt verpacht aan het recreatieschap Groengebied Amstelland. De vergunning voor het gebruik van het oppervlaktewater valt onder AGV (Waterschap Amstel, Gooi en Vecht). Het waterschap stelt milieu-eisen aan het gebruik van de bron.

De vergunning van AGV is gebaseerd op de maximaal te lozen hoeveelheid water. De maximale toegestane debieten zijn:

- maximaal etmaaldebiet: 110.000 m³ / etmaal
- maximaal debiet tijdens stratificatieperiode (april – oktober): 6,5 miljoen m³

Deze vergunning is verschillend ten opzichte die van Rijnland, omdat die gebaseerd is op de hoeveelheid te onttrekken koude (in GWh)

De capaciteit van het koudeproject in Zuidoost is hiermee begrensd op 60 MW. Dit vermogen zal alleen worden geleverd op warme zomerdagen. De verwachting op basis van het vraagpatroon van de nog aan te sluiten klanten is dat jaarlijkse zo'n 61 GWh aan koude zal worden geleverd.

Ook de Ouderkerkerplas heeft problemen met de groei van blauwalgen. De betrokken partijen (NUON, het Waterschap AGV, Groengebied Amstelland) doen momenteel onderzoek naar een nieuwe bestrijdingsmethode. Door injectie van zuurstof wordt het fosfaat vastgelegd, waardoor de voeding van de blauwalg verdwijnt. De Ouderkerkerplas staat niet in verbinding met ander water, waardoor er geen toevoer van fosfaat is. De concentratie zal dus uiteindelijk dalen. De maatregel is relatief goedkoop, en verstoort de stratificatie in de plas niet. Partijen hebben afspraken gemaakt om het project de komende jaren te monitoren. Als het slaagt, dan ontstaat een win-win situatie: de fosfaten verdwijnen, de overlast van de blauwalgen stopt waardoor de plas voor recreatie geschikt blijft én het meer is voor koudewinning geschikt.

Capaciteit Nieuwe Meer en Ouderkerkerplas

Het bepalen van de maximale koelcapaciteit van een meer is afhankelijk van veel factoren (zie pagina 20). Beter is het daarom om uit te gaan van de koelcapaciteit van de KPC's.

- De maximale capaciteit van de KPC in Zuidoost bedraagt 54 MW, het maximaal aan te sluiten klantvermogen is 60 MW (61 GWh).²¹
- De KPC op de Zuidas kan met de aangevraagde lozingsvergunning 75 MW (172 GWh) leveren.²²

Let op: de piekvermogens bij de Zuidas en Zuidoost verschillen niet veel (75 MW t.o.v. 60 MW), de hoeveelheid energie echter wel (172 GWh t.o.v. 61 GWh). Verklaring hiervoor is de hogere basislast die op de Zuidas kan worden geleverd. Met andere woorden: de oppervlakte onder de jaarbelastingsduurkromme bij de Zuidas is groter.

De gezamenlijke koudeproductie bedraagt 233 Gwh (172 + 61). De hoeveelheid bespaarde elektrische energie is te vergelijken met de jaarproductie van 15 windmolens van 2 MW (de windmolens die nu aan de Ouderkerkerplas staan), of 740.000 m² zonnecellen. Voor de berekening zie kader.

De bronnen zijn nog lang niet volledig uitgenut. Stadskoude kan op termijn zeker 120 MW aan de Zuidas leveren, omdat de Nieuwe Meer capaciteit over heeft; de capaciteit in Zuidoost kan zeker worden verdubbeld door gebruik te maken van de extra koelcapaciteit van de Ouderkerkerplas en/of door aansluiting met de Gaasperplas.

21 NUON, mondeling, Marnix van Alphen, Ronald Roelen, op basis van de vergunning-aanvraag

22 NUON, mondeling, Marnix van Alphen, Ronald Roelen, op basis van de vergunning-aanvraag

De berekening van de energiebesparing

Als de 233 Gwh koude zou worden geproduceerd met behulp van een normale compressiekoelmachine met COP=2,5, dan is er $233 : 2,5 = 93,2$ Gwh aan elektriciteit nodig. [nb: bij een hogere COP van de referentiesituatie is de relatieve besparing natuurlijk minder]. Met behulp van stadskoude wordt er 75% bespaard, dus $93,2 * 75/100 = 69,9$ Gwh. Deze zou duurzaam kunnen worden opgewerkt met behulp van:

- Zonne-energie. Een zonnestelsel met 500 Watt-piek aan vermogen ter grootte van 4 m² levert jaarlijks gemiddeld 375 kWh, oftewel $93,75 \text{ kWh} / \text{m}^2$ ^x. Het totaal aantal benodigde vierkante meter is dus: $69,9 \times 10^9 \text{ Wh} / 93,75 \times 10^3 \text{ Wh/m}^2 = 0,74 \times 10^6 / \text{m}^2 = 740.000 \text{ m}^2$
- Windenergie. Windturbine naast de Ouderkerkerplas (2 MW), gemiddelde jaarproductie afgelopen 4 jaar: 4.424.697 kWh = 4,5 GWh^{xx}. Ten behoeve van 69,9 GWh zijn dus nodig: $69,9 \times 10^9 \text{ Wh} / 4,5 \times 10^9 \text{ Wh} = 15$ molens.

De primaire energiebesparing wordt normaliter niet uitgedrukt door zon of wind als referentie te nemen, maar een bestaande, standaard centrale met een rendement van 40%. De bespaarde hoeveelheid primaire energie is dan 0,62 PJ. Deze berekening gaat als volgt. Er wordt 69,9 Gwh aan elektriciteit bespaard. Er geldt: $1 \text{ MWh}_{\text{th}} = 3,6 \text{ GJ}$, dus $69,9 \text{ GWh} = 3,6 \times 69,9 \times \text{TJ} = 251,64 \text{ TJ} = 0,25 \text{ PJ}$. Bij een rendement van 40% met een conventionele centrale wordt aan primaire energie bespaard: $0,25 \times 2,5 = 0,62 \text{ PJ}$

Dezelfde rekensom kan op een andere manier worden gemaakt, en gaat dan als volgt. $1 \text{ MWh}_{\text{th}} = 3,6 \text{ GJ}$; $233 \text{ GWh}_{\text{th}} = 3,6 \times 233 \times 10^3 \times 3,6 \text{ GJ} = 838 \text{ TJ} = 0,838 \text{ PJ}$ koude. Met COP van 2,5 is de hoeveelheid benodigde elektriciteit $0,838 / 2,5 = 0,3352 \text{ PJ}$. Hiervan wordt $\frac{3}{4}$ uitgespaard, dat is $0,3352 \times 0,75 = 0,25 \text{ PJ}$ aan elektriciteit. Bij een rendement van 40% met een conventionele centrale wordt aan primaire energie bespaard: $0,25 \times 2,5 = 0,62 \text{ PJ}$

Bronnen

- ^x http://www.milieucentraal.nl/pagina.aspx?onderwerp=Zonnepanelen#Zo_werkt_een_zonnepaneel
- ^{xx} http://www.windvogel.nl/molens/molen_amstelvogel/

Overige bronnen

GOS / GET als koudebron: algemeen

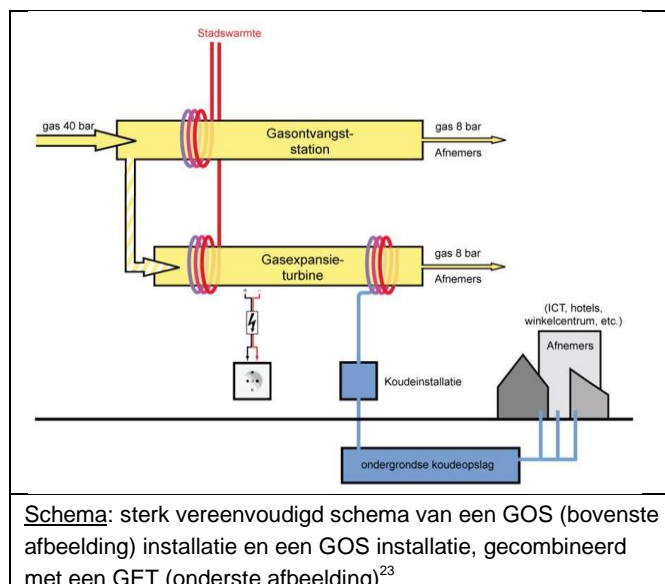
Een bijzonder bron voor koudeproductie is de zgn Gas Ontvangst Stations (GOS). Er zijn een klein aantal van dergelijke installaties in Nederland. Eventueel kan een GET (Gas Expansie Turbine) worden toegevoegd, waarmee duurzame elektriciteit wordt geproduceerd. Eerst een korte technische toelichting.

Gas wordt onder hoge druk gewonnen en in een distributienet van 40 bar door Nederland verspreid. De temperatuur is gelijk aan de grondtemperatuur, dus ongeveer 10 °C. Op verschillende plaatsen liggen overslagstations waar de druk wordt teruggebracht tot 8 bar.

Bij de drukverlaging of expansie ontstaat koude (op dezelfde wijze als een campinggas blikje koud wordt als er gas wordt onttrokken). Bij een standaard GOS-station wordt warmte van 30 °C toegevoegd om de installatie op temperatuur te houden. In plaats van warmte toe te voegen en de koude te vernietigen, kan de koude ook worden onttrokken en worden gebruikt.

Aan het GOS kan een GET worden toegevoegd. Het grote drukverschil in een GOS geeft namelijk een sterke stroming, vergelijkbaar met stoom in een gewone centrale. Hiermee kan een GET (Gas Expansie Turbine) worden aangedreven, waarmee duurzame elektriciteit wordt geproduceerd. Door de arbeid die het gas verricht daalt de temperatuur echter nog sterker, waardoor nog meer koude wordt geproduceerd die moet worden onttrokken.

Een GET installatie produceert dus duurzame elektriciteit, en heeft als restproduct koude. Het systeem werkt optimaal bij grote gasdoorvoer, dus in de winter. De elektriciteit kan onmiddellijk worden geleverd, de koude moet worden opgeslagen en kan in de zomer worden gebruikt.



²³ Daniel Kothe, dRO Concept SP OverAMstel

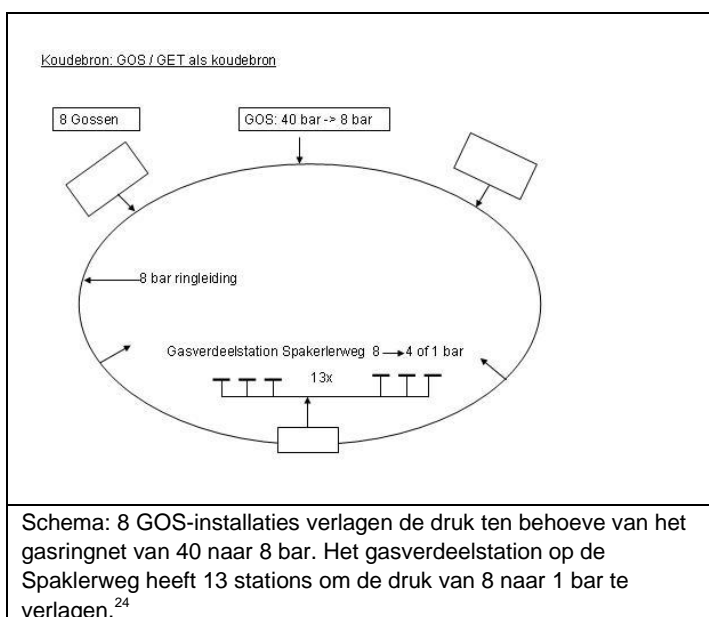
De uiteindelijke energetische prestaties van het het systeem hangen van veel variabelen af zoals de hoeveelheid te expanderen gas, de kwaliteit van de onttrokken koude, de waardering van het koelingalternatief enz.

GOS / GET in Amsterdam

Gas komt in Amsterdam aan met een druk van 40 bar. De druk wordt tweemaal verlaagd, van:

- 40 naar 8 bar. Rondom Amsterdam liggen 8 GOS-installaties die de druk van 40 naar 8 bar verlagen. De GOS-installaties zijn allen met een ringleiding met elkaar verbonden, waarin de druk dus 8 bar bedraagt.
- 8 naar 1-4 bar. Vanaf het ringnet wordt het gas verder door middel van gasverdeelstations in druk verlaagd en aan de afnemers in de stad geleverd.

De GOS-installatie aan de Spaklerweg ontvangt 60% van het Amsterdamse gas, en is daarmee de belangrijkste van de 8 stations. De druk wordt er van 40 naar 8 bar gereduceerd; er zijn 13 onderstations om de druk van 8 naar 1-4 bar te verlagen (zie onderstaand schema). De aan de GOS toegevoegde GET installatie produceert ongeveer 1,5 MW aan duurzame elektriciteit. In de huidige situatie wordt de toegevoegde warmte opgewekt door een WKK, die ook een vermogen heeft van ongeveer 1,5 MW.



Het gehele terrein aan de Spaklerweg wordt momenteel opnieuw ingericht. Ook de GOS en de GET-installaties worden vervangen en komen terug in de nieuwe situatie. Het is echter niet zeker of de GOS installatie koude zal gaan leveren. Als dat gebeurt, dan kan ca 3 MW koeling voor ca 3500 uur per jaar koude worden opgewekt, en er kan een piekvraag van ca 20 MW worden bediend. De koude moet wél in de winter worden opgeslagen, zodat in de zomer kan worden geleverd.

Overig water als koudebron

Al het water in Amsterdam kan altijd ten behoeve van collectieve vormen van stadskoeling worden gebruikt. Op de Oostelijke Handelskade is al een collectieve warmte en koude installatie in gebruik, die het water uit het IJ gebruikt als één van de koudebronnen. Er zijn plannen om de koeling op Sciencepark Amsterdam te betrekken van het Amsterdam – Rijnkanaal. Op IJburg kan de koeling uit het IJmeer worden gebruikt.

WKO installaties

De Amsterdamse ondergrond is uitermate geschikt voor het toepassen van WKO. Hierdoor is WKO in feite overal toepasbaar. Er zijn inmiddels een groot aantal rapporten verschenen²⁵, maar er is nog geen visie over de gevolgen van stadswide toepassing van WKO en/of de integratie met stadskoude of -warmte.

Alle andere technologieën.

Veel koudetechnieken die gebaseerd zijn op fossiele brandstoffen zijn overal inzetbaar, dus ook in Amsterdam. Deze technieken zullen in het kader van dit rapport niet verder worden behandeld, omdat Amsterdam hier geen onderscheidend vermogen heeft ten opzichte van andere steden.

Netwerk en afnemer in Amsterdam

Zuidas: eerste koudenet in uitvoering

De gemeente heeft het energie-verbruik van de Zuidas reeds in een vroeg stadium ingeschat. In totaal zou er in 2020 zo'n 75 miljoen kubieke meter gas op jaarbasis worden verstoekt om energie op te wekken, waarvan 13 voor verwarming, en 62 voor elektriciteit

25 IBA, 18 oktober 2004; IBA, maart 2007.

(waarvan 32 voor koeling). Ruim een derde van elektriciteitsverbruik zou dus nodig zijn om te koelen. Met energiemaatregelen is het totale verbruik terug te brengen tot 69 miljoen kubieke meter aardgas, of zelfs nog lager naar 40 mln m³.

Uit onderzoek bleek dat als alleen warmte koudeopslag (WKO) zou worden toegepast, dat dan niet aan de koelbehoefte zou kunnen worden voldaan. Daarom is stadskoude ontwikkeld, met de Nieuwe Meer als bron. Er wordt water uit het meer opgepompt van acht á tien graden, wat in de KPC verder wordt afgekoeld naar de gewenste 6 graden. De Nieuwe Meer kan op deze manier voorzien in 72% van de koelbehoefte van de Zuidas. Inmiddels heeft NUON 35 MW gecontracteerd, en een vergunning voor 75 MW aangevraagd. Uiteindelijk kan dat worden verhoogd tot 120 Megawatt in 2015. Dit is ongeveer drie keer de koelcapaciteit die warmte/koudeopslag kan leveren aan de Zuidas^{26, 27, 28}

Momenteel is de infrastructuur aangelegd van de Nieuwe Meer tot en met Zuid-Oostelijke deel van de Zuidas. Met het oog op het ruimtebeslag is er aan de Zuid As een gemeenschappelijke leidingtunnel aangelegd, die ook voor het stadskoude-net wordt gebruikt.. Er zijn plannen om de infrastructuur uit te breiden ten Noorden van de A10. Uit onderzoek bleek dat een boring onder de A10 aan de Westkant van de Zuidas te duur en te ingewikkeld bleek. Momenteel wordt de optie onderzocht om aan de Oostkant met behulp van een brug de A10 over te steken.

Zuidas: financiën

NUON heeft in de orde grootte 40 a 45 miljoen Euro geïnvesteerd in het koudeproject aan de Zuidas. De gemeente Amsterdam vraagt geen geld gevraagd voor het gebruik van het koude water. De KPC staat op Amsterdams grondgebied. De gemeente rekent voor het gebruik van de kavel het nutstarief. De leidingen liggen in de grond op basis van het principe "liggen om niet, verleggen om niet". Er wordt wel een (bescheiden) vergoeding gevraagd voor het gebruik van de integrale leidingtunnel.

26 DMB, Nic Frederiks, juli 2005

27 IBA, Ruud van Doorn, 18 oktober 2004

28 http://www.dmb.amsterdam.nl/actueel/projecten_door_dmb/zuidas



Zuidas: uitvoeringsproblemen

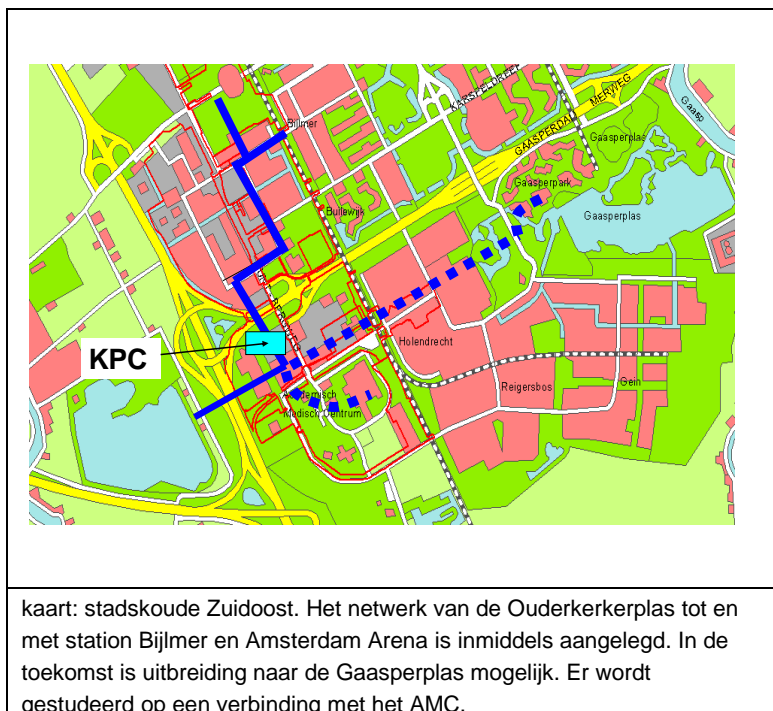
Bij de uitvoering zijn een aantal problemen naar voren gekomen. De belangrijkste daarvan zijn:

- ecologische problemen met de blauwalgen en het bellenscherm (zie bijlage)
- corrosie van de leidingen. De gebruikte leidingen in het Nieuwe Meer bleken niet bestand tegen een bepaalde bacterie, waardoor ze werden aangetast. NUON was gedwongen de metalen leidingen door kunststof te vervangen. Het huidige materiaal blijkt goed te functioneren.
- Extra kosten bij het aanleggen van de infrastructuur door:
 - vervuilde grond die onverwacht wordt aangetroffen;
 - onvolledige kaarten van de ondergrondse infrastructuur, waardoor tijdens de aanleg extra maatregelen moeten worden genomen.

Zuidoostlob: tweede koudenet in uitvoering

De gemeente heeft (nog) geen energievisie opgesteld voor de Zuidoostlob. NUON heeft op basis van eigen inschattingen het initiatief genomen om stadskoude aan te leggen. Redenen hiervoor zijn de hoge koelvraag en de mogelijkheid om bestaande installaties te vervangen. NUON heeft nu een vergunning van 60 MW, en ongeveer 10 MW is gecontracteerd. Er zijn gesprekken gaande met grote partijen (Amsterdam Arena, 3 a 4 MW; AMC, ca 10 MW). In de toekomst is verdere uitbreiding mogelijk door een verbinding te maken met de Gaasperplas.

De gemeente is wel overtuigd van de nut- en noodzaak, en neemt alle mogelijk maatregelen (reserveren grond, lage grondprijzen), om het project te realiseren.



Zuidoostlob: financien

NUON heeft, net zoals bij de Zuidas, een orde grootte van 45 miljoen Euro in het project geïnvesteerd. De KPC staat op Amsterdams grondgebied, waarvoor het nutstarief wordt berekend. De Staatsbosbeheer en GGA vragen een vergoeding voor het leidingennetwerk. Hierover is een controverse ontstaan tussen SBB, GGA en NUON (zie hieronder).

Zuidoostlob: uitvoeringsproblemen

In de uitvoering zijn een aantal problemen naar voren gekomen.

Te hoge vergoeding aanleg leidingen?

Bij Ouderkerkerplas hebben de eigenaar (Staatsbosbeheer) en de beheerder (het Groengebied Amstelland), een vergoeding gevraagd voor de aanleg van de leidingen. Het trace is in totaal 650 meter lang, waarvan 250 meter op land ligt, en 400 meter in de plas. De hoogte van de vergoeding bedraagt 1 mln Euro voor zeven jaar. NUON betaalt dus zeven jaar lang ieder jaar 150.000 Euro. Daarvoor zijn drie argumenten aangevoerd:

- de bron is collectief bezit;
- de leverancier gaat daar aan verdienen;

- de beheerder is armlastig

De eerste constatering is wellicht terecht, het tweede argument is een veronderstelling, het derde argument doet niet ter zake. Over de afzetprijzen is niets vastgelegd en de kosten zijn alleen intern bij NUON bekend. Vooralsnog is het dus gissen naar de winst. NUON stelt zich op het standpunt dat de rendementen van het project laag is.

Vanuit de veronderstelde overwinst hebben SBB en GGA gekozen voor een vergoeding voor het liggen van de leidingen. De meeste gemeenten, waaronder normaliter ook de gemeente Amsterdam, vragen geen vergoeding voor de aanleg van kabels en leidingen in de ondergrond. Wel moet er worden betaald voor het verleggen van leidingen. Het principe heet: "liggen om niet, verleggen om niet". Het Rijk had in 2009 aangekondigd dat dit miv januari 2010 voor alle gemeenten zal gaan gelden. Deze wetgeving is momenteel overigens toch nog niet ingevoerd. De vergoeding is in ieder geval in strijd met stand gemeentelijk beleid, en wellicht ook met toekomstig Rijksbeleid. Bovendien benadeelt de gevraagde vergoeding de concurrentieverhoudingen op de lokale energiemarkt in het nadeel van (duurzame) stadskoude. Er is dus alle aanleiding om de gesloten contracten nog eens kritisch te bezien.²⁹ Wellicht biedt de residuele methode om de waarde van koude te berekenen een uitkomst.

Tarieven in het algemeen, de Amsterdam Arena in het bijzonder

Het aantal klanten blijft enigszins achter bij de verwachting. Een aantal potentiële klanten kiest inderdaad voor stadskoude, een aantal anderen kiest voor een andere techniek (WKO). Hiermee dreigt een suboptimaal resultaat voor het gebied te worden gehaald en is het voor NUON moeilijk een juiste prijs te stellen. Immers: de kosten van de infrastructuur kunnen (nog) niet over een groot aantal klanten worden verdeeld. Bovendien is er veel onduidelijkheid over de vergelijking met andere technieken. Deze kan pas worden gemaakt als alle variabelen hetzelfde zijn (aansluitbijdrage, vastrecht, GJ-prijs, garantie, onderhoud, leveringszekerheid enzovoorts).

In de casus Amsterdam Arena heeft het projectbureau Zuidooitlob een eerste voorkeur voor een aansluiting op de stadskoude. De Amsterdam Arena lijkt echter de voorkeur te geven aan een andere techniek, namelijk stadswarmte in combinatie met warmte/koude opslag. In samenwerking tussen de partijen is een second opinion aangevraagd. Hierin wordt overigens niet voor stadskoude wordt gekozen. Actieve bemiddeling van de gemeente kan de impasse doorbreken, en de balans ten faveure van stadskoude doen doorslaan.

Overig

Behalve bovengenoemde bestuurlijke problemen, zijn er een aantal meer technische problemen waarmee het project te kampen heeft gehad.

²⁹ Maarten de Boer, november 2009 pag 9. Enkele tekstwijzingen met toestemming toegevoegd.

- Extra kosten bij het aanleggen van de infrastructuur door:
 - vervuilde grond die onverwacht wordt aangetroffen;
 - onvolledige kaarten van de ondergrondse infrastructuur, waardoor tijdens de aanleg extra maatregelen moeten worden genomen.
- Kosten van de uitvoering zijn hoger, omdat één van de drie kunststof leidingen die de A2 kruisen, op circa 50 meter van het eindpunt is vastgelopen. De leiding is opgegraven, waarna de werkzaamheden zijn hervat.

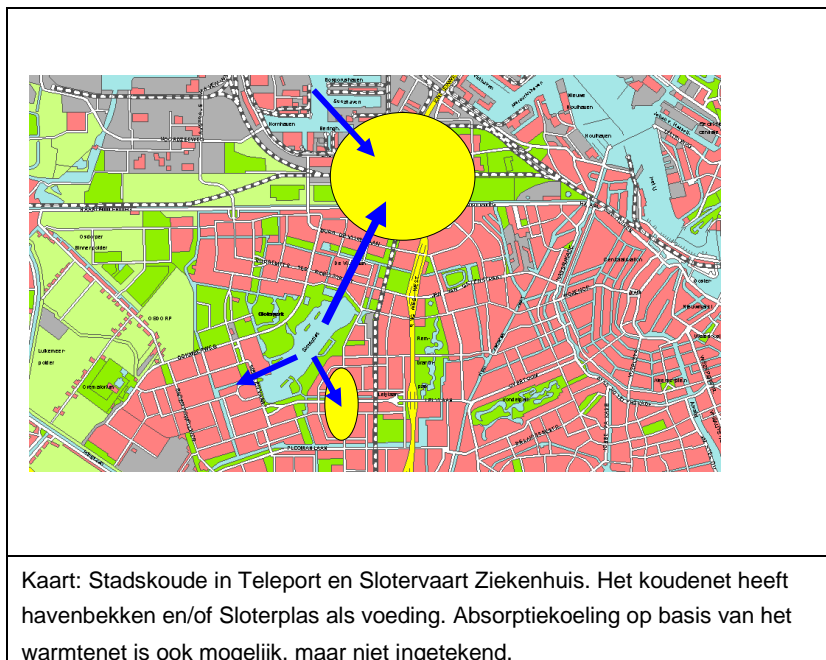
Teleport en Slotervaart Ziekenhuis: derde en/of vierde koudenet in Amsterdam?

Teleport is het derde grootschalige kantorengedebied in Amsterdam, naast de Zuidas en Zuidoostlob. De grote koudevraag rechtvaardigt de aanleg van een koudenet. De meest duurzame bron hiervoor is het koude water uit het havenbekken en/of de Sloterplas. Eventueel is een combinatie mogelijk met absorptiekoeling (absorptiekoeling is een techniek waarbij met behulp van een chemisch proces koude uit restwarmte wordt gemaakt). Dat ligt bij Teleport om de volgende redenen voor de hand:

1. Er ligt reeds een stadswarmtenet in Teleport als basisvoorziening voor de warmtelevering. Hierdoor kan absorptiekoeling goed worden toegepast. Daarmee kan er ook in de zomer – als de vraag naar restwarmte laag is – restwarmte worden gebruikt, waardoor de lozing van restwarmte wordt beperkt;
2. stadswarmte en –koude sluiten goed aan op de temperatuurniveaus van de bestaande bouw;
3. er is onvoldoende ruimte om ondergronds WKO met warmtepompen toe te passen.

Mogelijkerwijs kan er koude worden geleverd aan het Slotervaart ziekenhuis en omliggende percelen. Het verdient aanbeveling dat de gemeente Amsterdam en NUON een gezamenlijke visie schrijven op de energievoorziening in Teleport³⁰ en het Slotervaartziekenhuis.

30 DMB, Marlies Lambregts, 20 mei 2008



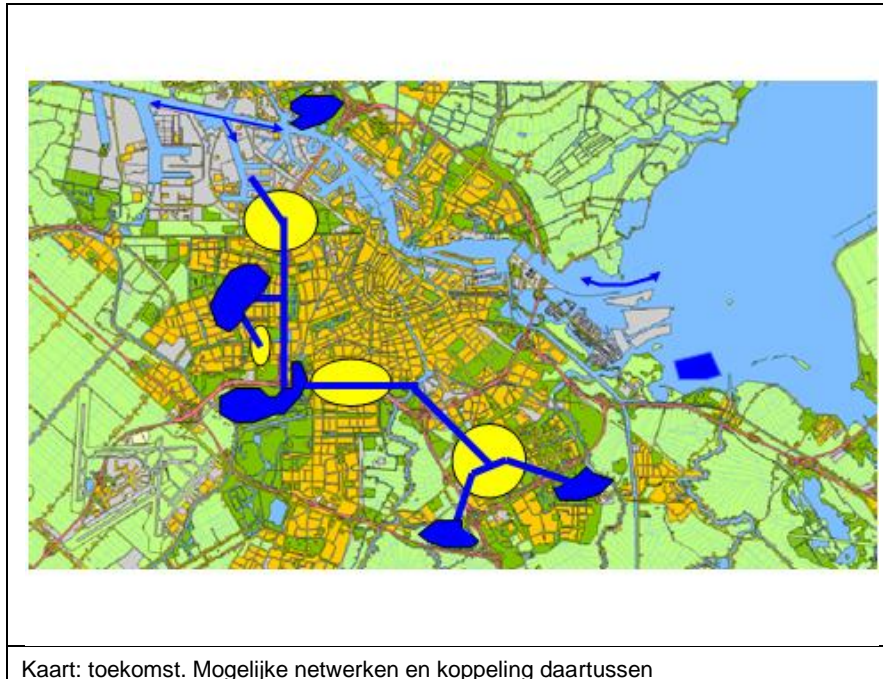
Teleport en Slotervaart Ziekenhuis: uitvoeringsproblemen

NUON heeft besloten voorlopig geen projecten vanuit de Sloterplas te initiëren. Daarvoor zijn een aantal redenen. Ten eerste wil NUON ervaring opdoen bij de huidige, lopende projecten. Ten tweede is de realisatie van nieuwe projecten door de crisis bemoeilijkt. Ten derde zijn er specifieke problemen bij het project Teleport:

- de relatief hoge kosten van de restwarmte ten behoeve van absorptiekoeling;
- onzekerheid over het aantal aan te sluiten gebouwen;
- onzekerheid over de aan te vragen vergunningen (lozingsvergunningen);
- een aantal infrastructurele problemen (boringen, ruimte problemen in Teleport).

Koppelen netwerken

Het is mogelijk om in de toekomst verschillende netwerken te koppelen. Een verbinding tussen Amsterdam Zuidoost en de Zuidas ligt voor de hand op de middenlange termijn. Het GOS van OverAmstel zou dan ook aangesloten kunnen worden. Een verbinding tussen de Nieuwe Meer en de Sloterplas naar Teleport /Slotervaart Ziekenhuis is alleen in de verre toekomst mogelijk. Wellicht kan het water in het Ymeer voor Yburg worden gebruikt. In onderstaand schema is een mogelijk toekomstig beeld geschetst.



Kaart: toekomst. Mogelijke netwerken en koppeling daartussen

Keten: huidige en toekomstige organisatie van stadskoude

Stadskoude is een innovatie techniek in Nederland. Het initiatief ligt bij NUON. Zij hebben daarvoor veel expertise uit Zweden ingehuurd bij het bedrijf Capital Cooling³¹. NUON is de investerende partij en draagt het risico. Er zijn een groot aantal spelers bij de gehele keten betrokken.

Bij de bronnen zijn de volgende partijen betrokken. Ten behoeve van de diepe meren: de waterschappen Rijnland en AGV; Staatsbosbeheer en recreatieschappen; Gemeente Amsterdam en gemeente OuderAmstel. De GOS/GET is eigendom van NUON. De WKO installaties die op het netwerk kunnen worden aangesloten, zijn in handen van individuele partijen (bijvoorbeeld gebouweigenaren of andere energiemaatschappijen).

Het netwerk is eigendom van NUON. De gemeente stelt randvoorwaarden voor de aanleg van het net, maar investeert niet. Een nieuw project (bijvoorbeeld bij de Slotterplas) kan door NUON worden uitgevoerd, maar dat is niet noodzakelijk. De afnemers bestaan uit diverse partijen (individuele grote afnemers) en hebben een leveringscontract met NUON afgesloten.

31 Zie: <http://www.capitalcooling.se/>

Als voor de verdere uitrol van stadskoude wordt gekozen, dan is een hernieuwde discussie over de organisatie noodzakelijk. Er kan een parallel worden getrokken met stadswarmte. BenW heeft opdracht gegeven voor een onderzoek naar de organisatie van de stadswarmteketen om de doelstellingen (100.000 aansluitingen in 2025, aanleg ringnet) te behalen. Een dergelijk onderzoek ligt ook voor de hand voor stadskoude. Mogelijkheden zijn: het formuleren van een aansluitplicht; het uitgeven van een concessie; gemeentelijke participatie in stadskoude. Tenslotte is het mogelijk om stadskoude onder te brengen in WPW, de joint venture tussen de gemeente en NUON voor warmtelevering.

Keten: beoordeling Amsterdamse stadskoude

De beoordeling van de gehele keten van stadkoeling in Amsterdam sluit nauw aan bij het hoofdstuk “stadskoude algemeen”.

Betrouwbaarheid: hoog

De betrouwbaarheid van stadskoude is zeer hoog, groter dan 99%. Hiermee heeft een heel gebied de beschikking over een betrouwbaar koelsysteem. Indien nodig kan dat nog worden verhoogd door bij de individuele klant extra maatregelen te treffen, waardoor de betrouwbaarheid oploopt tot nagenoeg 100%. Een aantal grote klanten heeft dan ook voor het systeem gekozen vanwege de betrouwbaarheid.

Betaalbaarheid: nog in discussie

Afnemers hebben bij de vraag naar koude altijd een alternatief (WKO, compressiekoeling). De prijs komt tot stand door onderhandeling tussen twee gelijkwaardige partners. Er zijn momenteel wel discussies over een objectieve vergelijking. De gemeente bemiddelt bij de casus ArenA.

Duurzaamheid: hoog

De duurzaamheid van het systeem wordt beoordeeld op twee kenmerken:

- de energetische prestatie. De energetische prestatie is niet in één getal vast te stellen, maar verschilt over de jaren (bijvoorbeeld het aantal warme winter en zomer na elkaar). De DMB heeft een verklaring uitgegeven dat de COP-waarde voor de koudewinning uit de Ouderkerkerplas 13 bedraagt. Er is nog geen kwaliteitsverklaring voor de Zuidas. Deze zal als gevolg van het bellenscherm, waarschijnlijk wat lager zijn.
- De ecologische prestatie. Het effect op de ecologie is nog niet helemaal duidelijk. Bij de Nieuwe Meer zal de discussie over het bellenscherm en stadskoude nog even voortduren. Bij de Ouderkerkerplas kan, als de proef slaagt, een win-win situatie

ontstaan: de fosfaten verdwijnen, de overlast van de blauwalgen stopt waardoor de plas voor recreatie geschikt blijft én het meer is voor koudewinning geschikt.

VI. Bijlagen

Bijlage 1: stadskoude en -warmte

Het beleid van de gemeente Amsterdam ten aanzien van stadswarmte is beschreven in de "schaalsprong stadswarmte". In de paragraaf wordt een vergelijking tussen de twee systemen gemaakt, omdat de principes van stadskoude en stadswarmte sterk op elkaar lijken. Beide systemen kunnen het beste omschreven worden met behulp van de ketenbehandeling. keten: bron – netwerk – afnemer.

Puntsgewijs zijn de de belangrijkste overeenkomsten tussen stadswarmte en stadskoude:

Bron:

- De mogelijkheid om verschillende bronnen aan te takken. Die koude/warmte bron bevindt zich buiten het gebouw, en is dus gemakkelijk te vervangen door een nieuwe bron. Hierdoor is verduurzaming van het systeem relatief eenvoudig.
- De jaarbelastingduurkromme geeft de beschrijving tussen de vraag naar warmte/koude, de invulling door duurzame bronnen en de hoogte van de piek.

Netwerk

- Het product (warmte / koude) wordt via een stelsel van grote leidingen en warmte/koudewisselaars naar de afnemer gebracht. Het opslagmedium hiervoor is water.
- De investeringen in het netwerk zijn hoog, de onderhoudskosten laag.
- Robuuste systemen met een groot bereik. Beide systemen zijn geschikt voor nieuwbouw én bestaande bouw..
- De groei van het systeem vindt plaats door kralen rijen. Eerst worden onafhankelijke projecten van elkaar gerealiseerd, in een later stadium worden die verbonden met een groter netwerk. Vergroting van het netwerk leidt tot hogere efficiency en effectiviteit.
- Het collectieve karakter van beide netwerken is de kracht (hoge efficiency) én tegelijkertijd de zwakte van het systeem (moeilijk te realiseren).

De belangrijkste verschillen tussen stadswarmte en stadskoude zijn;

Bron:

- Stadswarmte betreft warmte en heeft als belangrijkste bron de restwarmte van de energiecentrales. Stadskoude betreft koude, en heeft als belangrijkste duurzame bron de diepe meren rondom Amsterdam;

Netwerk

- Het netwerk van stadskoude is nóg zwaarder uitgevoerd dan voor stadswarmte. De kleine temperatuurverschillen (6/16 graden) leiden tot grote volumes water dat moet

worden verpompt. De maximale afstand tussen bron en afnemer is bij stadkoeling daarom veel kleiner dan bij stadswarmte;

Afnemer

- Stadswarmte is bedoeld voor groot- en kleinverbruikers. Stadskoude richt zich alleen op grootschalig koudegebruik in de utiliteit. Er zijn meer alternatieven (compressie, absorptie, adsorptie, koudewiel) en de afnemer kan voldoende tegenwicht bieden aan de producent. Stadskoude heeft bovendien een 0-optie: niet iedereen heeft koude nodig. De koudetarieven verschillen naar gelang behoefte, grootte en zekerheid. Stadswarmte kent standaardtarieven op basis van het NMDA-principe, waarmee een vergelijking met gas wordt gemaakt. Stadswarmte heeft meer een nutskarakter, stadskoude is meer marktgericht.

	Stadskoude	Stadswarmte
<i>Bron</i>		
• Soort bron en verduurzaming	Koude uit diepe meren. Andere bronnen: GOS / GET	Afvalwarmte uit energiecentrales (kolen, gas, afval). Verdere verduurzaming door nieuwe bronnen, zoals biomassa centrales geothermie enz.
• Plaats	Grootschalig, buiten gebouw	Grootschalig, buiten gebouw
• Jaarbelastingduurkromme	Ja	ja
<i>Netwerk</i>		
• Zwaarte	Zeer zwaar, max afstand bron – afnemer 5 km	Zwaar, max afstand bron afnemer 25 km
<i>Afnemer</i>		
• Grootte	Nadruk op grootschalig gebruik dus utiliteit	Grootverbruikers én kleinverbruikers
• Gebouwde omgeving	Nieuwbouw en bestaande bouw	Nieuwbouw en bestaande bouw
• Prijsvorming	Marktgericht	Nutsgericht
• Groei	Kralen rijgen	Kralen rijgen
<i>Overig</i>		
• Wetgeving	Geen wetgeving tbv consumet. Wel wetgeving tav gebruik koude uit meren	NMDA-principe Warmtewet
Tabel: schematisch overzicht: overeenkomsten en verschillen tussen stadskoude en stadswarmte		

Bijlage 2: blauwalgen en stadskoude

Inleiding: blauwalgen

Het oppervlaktewater in Nederland, en dus ook diepe meren, bevat nog steeds te veel algen. Een overschot is te herkennen aan een 'groene soep' en/of blauwe schuim. De blauwalgen vormen in het bijzonder een probleem. Ze vormen een drijfslag op het water en hopen zich op aan de oevers. De algen stinken, verdringen andere waterplanten, en zijn ongezond voor mensen. Hierdoor wordt het recreatief gebruik van waterplassen gehinderd. In de zomer wordt meestal een zwemverbod opgelegd. Recreanten en horeca zijn hiervan de dupe.

Oorzaak groei blauwalgen

De overmatige groei wordt in de eerste plaats veroorzaakt door een te hoge concentratie van stikstof en fosfaat in het water (eutrofiëring). De concentratie van fosfaten is in diepere lagen van het water hoger. De beide nutriënten zijn afkomstig van landbouw en industrie. Het fosfaat- en mestbeleid om de emissies te beperken is succesvol. De fosfaatemissies zijn sinds 1985 met 63% gedaald, de stikstofemissies met 37%. De verwachting is dat over 20 á 30 jaar het water in Nederland fosfaatvrij is. Toch blijkt uit een analyse van 231 meren in Nederland dat de waterwaliteit in ongeveer 1/3 van de meren onvoldoende is, en dat aanvullend beleid nodig is. Dit bestaat voornamelijk uit het bestrijden van de blauwalg ter plekke³².

Er zijn ook andere factoren die de groei van blauwalgen bevorderen: het zonlicht en de temperatuur van het water. Hoe meer zonlicht, en hoe hoger de temperatuur, hoe sneller de algengroei is. Tot slot blijkt uit de praktijk dat in een meer waarin de gelaagdheid van het water in stand blijft, de blauwalgen sneller groeien. Het vermoeden is dat ze een concurrentievoordeel hebben ten opzichte van andere algen, omdat zij beter in staat zijn hun drijfvermogen te regelen. Daarom kunnen ze beter pendelen tussen de verschillende lagen.

Bestrijding blauwalgen: oorzaak- of symptoombestrijding afhankelijk van verbinding met overig water

Zolang de achtergrond concentratie van fosfaten in Nederland te hoog is, is bestrijding ter plekke noodzakelijk. Hiervoor is een aantal methoden beschikbaar. Deze zijn in twee subgroepen te verdelen. De eerste groep biedt een fundamentele oplossing doordat de oorzaak van het probleem – de te hoge concentratie aan fosfaten – wordt bestreden. De fosfaten worden gebonden aan een substantie en/of worden het water uit gefilterd. De

32 Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2002, pag 11.

blauwalgen sterven vervolgens af door gebrek aan voedsel. De tweede groep bestrijdt niet de oorzaak, maar alleen het probleem zelf, de algengroei. Het is dus symptoombestrijding. Voorbeelden uit de twee groepen zijn:

Bestrijden oorzaak, binden of filteren van fosfaten

- Uitstrooien van kleikorrels
- Injecteren van zuurstof
- Uitzetten driehoeksmosselen.

Symptoombestrijding, bestrijden van de algen.

- Injecteren van waterstofperoxide.
- Plaatsen van bellenscherm

De keuze van de methode hangt van een aantal factoren af.

- de aard van de methode zelf. Iedere methode heeft zijn eigen specifieke kenmerken, zoals de overige effecten op de ecologie, de mogelijkheid van grootschalige toepassing, de tijdsspanne van de oplossing enz. De meeste methoden zijn experimenteel van aard. Alleen het bellenscherm heeft zich inmiddels bewezen.
- de specifieke eigenschappen van de locatie, zoals bijvoorbeeld de ernst van de overlast, diepte en grootte van het meer enz. Doorslaggevend voor de keuze van de methode is de verbinding van het meer met het overig water in Nederland. In een meer met een open verbinding is er een constante toevoer van fosfaten, en heeft bestrijding van fosfaten ter plekke geen zin. In een meer zonder open verbinding is er geen constante toevoer, en kunnen de fosfaten het beste ter plekke worden bestreden.

Nieuwe Meer

De Nieuwe Meer heeft via de ringvaart een open verbinding met het water uit de rest van Nederland en er is dus een constante toevoer van fosfaten. Er is dus geen andere mogelijkheid dan symptoombestrijding, de rechtstreekse bestrijding van de blauwalgen

Het Hoogheemraadschap Rijnland heeft daarom in 1993 een bellenscherm geplaatst. Er wordt lucht ingebracht op de bodem van de plas. Dit zorgt voor een verticale stroming, waardoor de blauwalgen mee worden gevoerd naar de diepte waar ze door lichtgebrek afsterven. Bij een dergelijke beluchtingsinstallatie (menginstallatie) is het temperatuursverloop anders: zodra er in de lente temperatuursverschillen gaan ontstaan, wordt de beluchtingsinstallatie aangezet, waardoor het meer gedurende de zomer goed gemengd blijft. Er ontstaat dus geen koude onderlaag.

NUON exploiteert sinds 2004 de koude uit het meer. Het Hoogheemraadschap Rijnland heeft hiervoor een vergunning afgegeven. Het wettelijk kader hiervoor is de WVO (Wet op de Verontreiniging van het Oppervlaktewater), later het Activiteitenbesluit. De algemene normen van het Activiteitenbesluit gaven geen mogelijkheid voor een vergunning. Het Hoogheemraadschap heeft daarom gebruik gemaakt van haar bevoegdheid om een

speciaal, op de casus gericht, maatwerkbesluit te nemen. Hierin mag gemotiveerd worden afgeweken van de (strengere) normen uit het Activiteitenbesluit.

Het beleid van het Hoogheemraadschap is er op gebaseerd dat de temperatuur in de oeverzone maximaal 0,5 graden mag stijgen. De hoeveelheid warmte die NUON mag lozen volgens het maatwerkbesluit bedraagt daarom 76GWh. Volgens berekeningen zal deze hoeveelheid te lozen warmte leiden tot een stijging van 0,2 á 0,4 graden. De feitelijke stijging blijkt 0,2 graden te zijn, dus voorlopig blijft NUON binnen de marge.

NUON heeft bezwaar aangetekend tegen (enkele voorwaarden van) het maatwerkbesluit, en heeft tegelijkertijd een nieuwe vergunning aangevraagd van 172 GWh. Volgens berekeningen zal dat leiden tot een temperatuurstijging van gemiddeld over de jaren van 0,5 – 1 graden, met maximum uitschieters van twee graden. Dat is volgens het Hoogheemraadschap niet acceptabel.

NUON en het Hoogheemraadschap zijn momenteel in een gerechtelijke procedure verwickeld. NUON wil dat het Hoogheemraadschap een andere methode kiest om algen te bestrijden, omdat het bellenscherm de koudebel aantast. Tevens vindt NUON de eisen aan de wamtelozing te strikt (zie volgende paragraaf).

Temperatuurverhoging: kritiek en repliek

Het gerechtelijk dossier heeft een aantal procedurele en inhoudelijke lagen en een uitgebreide bespreking valt buiten de doelstelling van het rapport. Toch een poging om overzicht te geven.

Het Hoogheemraadschap en NUON zijn het eens over de feitelijke opwarming als gevolg van stadskoeling. Er is een model ontwikkeld, dat beide partijen erkennen. Partijen zijn het echter niet eens over de ecologische gevolgen van de temperatuurverhoging en de waardering van die gevolgen. Tenslotte verschillen partijen over de normering, en over de bevoegdheid van het Hoogheemraadschap om normering vast te stellen.

De verhoging van circa 0,2 tot maximaal 2 graden (zie hierboven) is volgens het Hoogheemraadschap relatief veel ten opzichte van de "normale" watertemperatuur van 5 - 25 graden, waar de ecologische processen op afgestemd zijn. De ecologische effecten van opwarming zijn complex en de vele relaties in het voedselweb maken voorspellingen van de effecten lastig. Een aanzienlijk deel van de effecten werkt indirect: via andere, biotische of abiotische factoren. Denk bijvoorbeeld aan veranderingen in de zuurstof- en nutriëntenhuishouding, voedselaanbod, ziekteverwerkers en concurrenten om voedsel en habitat. In het algemeen leidt opwarming tot vervroeging van het groeiseizoen, veranderingen in de lengte van het groeiseizoen, een hogere biomassa en meer warmteminnende soorten (exoten).

Veel planktonsoorten vertonen een verhoogde groei- en voortplantingssnelheid bij temperatuurstijging (hogere pieken). De soortensamenstelling van algen verandert bij een hogere temperatuur. Blauwalgen zijn in het voordeel bij een hogere temperatuur, waardoor de dominantie van blauwalgen toeneemt. Ook de lengte van het groeiseizoen neemt toe.

Volgens NUON bevindt de feitelijke temperatuurverhoging zich aan de onderkant van de berekeningen. Zelfs als de temperatuurverhoging hoger zou zijn, dan is het effect op de ecologie zeer beperkt. NUON brengt hiervoor de volgende inhoudelijke en formele argumenten naar voren. De repliek van het Hoogheemraadschap is toegevoegd.

- Hoge temperatuurstijgingen hebben, in tegenstelling tot wat wordt gedacht, geen noemenswaardige ecologische effect. Zo is bijvoorbeeld de temperatuurstijging als gevolg van een hittegolf groot, terwijl de ecologische gevolgen beperkt zijn. In de zomer van 2003 was dat goed aantoonbaar. Uit onderzoek bleek dat de hoge buitentemperaturen (34, 35 graden) het water aanzienlijk opwarmde (van 22 graden tot 24 graden), terwijl de ecologische effecten beperkt waren. Blijkbaar is de ecologie sterk genoeg om dit soort schommelingen op te vangen. De repliek van het Hoogheemraadschap is dat het voorbeeld juist is, maar daaruit geen algemeen geldende conclusie getrokken kan worden. Het is voorbeeld is éénmalig en de tijdsperiode is te kort.
- De landelijke kaderrichtlijn water staat een verhoging van het oppervlaktewater toe (voor elektriciteitscentrales, papierindustrie) tot een verhoging van 2 graden. De ecologische effecten hiervan worden nauw gemonitord. Er is volgens NUON geen reden om aan te nemen waarom deze norm niet voor stadskoude zou gelden. Het Hoogheemraadschap heeft bovendien niet de bevoegdheid om van de kaderrichtlijn af te wijken. De repliek van het Hoogheemraadschap luidt dat het hier stromend, en geen stilstaand water betreft. Het Hoogheemraadschap is wél bevoegd, omdat het verantwoordelijk voor de waterkwaliteit is.
- Eerdere vergunningen stonden wel een maximale verhoging toe van 2 graden. Bij de verontdieping van het Nieuwe Meer en de storting van slib werd een verhoging van de temperatuur van 2 graden acceptabel geacht. De repliek van het Hoogheemraadschap luidt dat dit beleid is uit een ver verleden, toen de normen nog minder streng waren.
- Het Hoogheemraadschap Rijnland meet met twee maten, omdat het bellenscherm tot een grotere temperatuurverhoging leidt dan de lozing van stadskoude. De warme lagen worden immers naar beneden gezogen naar de koude onderlaag. Die koudelaag wordt vervolgens opgewarmd door een krachtige zon. De repliek van het Hoogheemraadschap is dat uit (door beide partijen geaccordeerde) modelberekeningen blijkt dat in het bellenscherm éérs tot een temperatuurverlaging in de oeverzone leidt, en vervolgens heel kort tot een temperatuurverhoging. De verwarming van het meer vindt plaats buiten de oeverzone, in de diepere lagen van het meer waar de normering minder strikt is.
- Het Hoogheemraadschap meet met twee maten, omdat het bellenscherm een verticale stroming leidt, waardoor fosfaten uit de onderlaag in de bovenlaag van het

meer komen. De repliek van het Hoogheemraadschap luidt dat het mengen van lagen door het bellenscherm juist de bedoeling is. In andere meren, zoals de Ouderkerkerplas, is het mengen van lagen ongunstig en is het voorkomen van menging een doelstelling.

Specifieke oplossingen voor het Nieuwe Meer

Andere oplossingen, specifiek gericht op de Nieuwe Meer, zijn mogelijk. De werking van het bellenscherm kan worden aangepast, of er kunnen andere oplossingen worden gekozen. Het Hoogheemraadschap heeft aangegeven bereid te zijn alle oplossingen te bekijken, maar wil eerst de uitslag van de rechtszittingen afwachten. Een opsomming van de mogelijkheden:

Aanpassen bellenscherm door het:

- hoger in het water te hangen, waardoor de koudwaterlaag in stand blijft.
- korter lucht te laten blazen, bijvoorbeeld alleen in de maand juli.
- niet boven de koudebel te hangen. De Nieuwe meer bevat twee bekkens, met daartussen een wal. NUON pompt het water uit het ene bekken op vanaf 26 meter diepte en loost het verwarmde water in het andere bekken op 24 meter diepte. Het bellenscherm boven het eerste bekken zou kunnen worden uitgezet.

Overige oplossingen:

- Uitdiepen Nieuwe Meer. Nadeel hiervan is dat de bodem veel verontreiniging bevat (autowrakken, fietsen, chemisch afval), waardoor chemische stoffen vrijkomen). Hiertegen pleit weer dat het afval niet eeuwig kan blijven liggen en ooit opgeruimd zal moeten worden.
- Rechtstreekse bestrijding van de blauwalg, bijvoorbeeld door het Injecteren van waterstofperoxide. Waterstofperoxide blijkt blauwalgen aan te tasten, en andere organismen in takt te laten. De methode bevindt zich nog in een experimenteel stadium.

Ouderkerkerplas

De Ouderkerkerplas heeft geen open verbinding met het water in Nederland. Er is dus geen constante toevoer van fosfaten. Bestrijding van de fosfaten ter plekke biedt daarom een structurele oplossing voor de groei van blauwalgen. Er is gekozen voor de injectie van zuurstof, waarmee fosfaten worden vastgelegd.

Waterschap AGV heeft de vergunning voor stadskoude gekoppeld aan een maximale hoeveelheid te verpompen water. Er is geen nomering ten aanzien van de maximaal hoeveelheid te lozen warmte. Het waterschap wil kennelijk voorkomen dat fosfaten uit de onderlaag in de bovenlaag terecht komen, en de fosfaatconcentratie er te hoog wordt.

Waterschap en NUON voeren ook op dit dossier procedures. Volgens NUON zijn de eisen van het waterschap te streng, en bovendien op een verkeerde wijze in procedure gebracht. In de zomer van dit jaar heeft de rechter hier een uitspraak over gedaan³³

Schema Nieuwe Meer en Ouderkerkerplas

In onderstaand schema zijn de belangrijkste elementen van de discussie bij de Nieuwe Meer en de Ouderkerkerplas samengevat

	Water schap	Verbinding met ander water	Aangrijpings punt bestrijden blauwalg	Oplossing	Primaire bezwaar NUON	Primaire bezwaar waterschap tegen stadskoeling
Nieuwe Meer	AGV	Wel verbinding, dus permanente toevoer fosfaten	Mengen waterlagen	Bellenscherm	1) Bellenscherm moet weg, want lagen mengen, waardoor koudebel afneemt; 2) temperatuur regime te streng.	Temperatuur verhoging
Ouderkerkerplas	Rijnland	Geen verbinding geen toevoer fosfaten	Afname fosfatenconcentratie	Vastleggen fosfaten door injectie zuurstof	fosfatennorm te streng	Mengen van lagen door grootschalig rondpompen.

³³ http://www.raadvanstate.nl/uitspraken/zoeken_in_uitspraken/zoekresultaat/?verdict_id=45499

VII. Literatuurlijst:

Rapporten:

Arcadis ism NUON Warmte, MER stadsdkoeling Amsterdam Zuidoost (nr: 110623/CE7/215/000535), 5 oktober 2007

BCG, Eindrapport Schaalsprong Duurzame Energieproductie in Amsterdam, december 2009

CE, Bouwstenen voor CO2 reductieprogramma in Amsterdam, naar 40% CO2 uitstootreductie in 2025, december 2007.

CE, Duurzame Energie in Amsterdam, kansen aan de horizon, raming voor het potentieel voor 2025, juni 2008

CE, CO2 reductie als gevolg van de uitvoering van het Amsterdamse luchtkwaliteitsplan, oktober 2008

Commissie MER, Stadskoude Amsterdam, Zuidoost: Ouderkerkerplas, Toetsingsadvies over het milieueffectrapport, rapportnummer 1710-89, 8 mei 2008

DWA, Nieuwe vormen van duurzame warmte en koude in aantocht, in: Klimaattechniek, juni 2008.

DWA, D.A van 't Slot, Overzicht koudegebieden en duurzame koeling Amsterdam Noord, concept, 20 augustus 2008

ECN, Marijke Menkveld, Luuk Beurskens, Duurzame warmte en koude in Nederland, juni 2009

Ecofys, Giel Linthorst, Katrien de Witte, Michiel van der Vight, John Baken, Rolf de Vos, Schaalsprong duurzame, energieopwekking in Amsterdam, Versnelling van de ontwikkeling en opwekking van duurzame energie in Amsterdam, 2009

Ecofys, F.P Schipper, A. vd Meer, Kwaliteitsverklaring koudelevering Amsterdam Zuid Oostlob, PDCSNL062330, december 2009.

Ecofys, Ir. L van den Boogaard, M. Thilliez, L Andringa, Energievisie OverAmstel, Projectnummer PSEINL 083314, Juni 2009

Energids, rendement warmtepomp valt vaak tegen, november 2009, november 2009,

Gemeente Amsterdam

- DMB, Amsterdam duurzaam aan de top, Milieubeleidsplan Amsterdam 2007-2010, 31 mei 2007.
- DMB, Cees Groot, Jeroen de Waal, Rekenmodel Klimaatneutraal bouwen, 9 maart 2009
- DMB, Cees Groot cs, Ontwikkeling koudevraag Klimaatneutraal bouwen, 20 augustus 2009
- DMB, Nic Frederiks (in opdracht van Projectbureau Zuidas), Energievoorziening Zuidas, 1995-2005, 2005-2020, Terugblik, analyse, vooruitblik, versie juli 2005
- DMB, Marlies Lambregts, aanleg van koudenet in Teleport, 20 mei 2008
- DRO, Ontwerp Structuurvisie Amsterdam 2040, Economisch Sterk en Duurzaam, hoofdstuk 10
- Gemeente Amsterdam, Programakkoord Amsterdam 2010-2014
- IBA, in opdracht van Projectbureau Zuidas, Ruud van Doorn, Peter Zwart, Onderzoek interimbeleid warmte en koudeopslag Zuidas Amsterdam, Projectnummer, 126669, 18 oktober 2004;
- IBA, A.S. Buchel, R.E. van Doorn, Warmte- en KoudeOpslag 'Wie het eerst komt, het eerst pompt?', maart 2007
- Klimaatburo, energiestrategie 2040, februari 2010
- OGA, AEB, Waternet, DMB en BDA, Schaa sprong stadswarmtenet, Naar 50% reductie van energiegebruik en CO2-uitstoot met duurzame warmte- en koudelevering, 5 november 2008
- Projectteam schaa sprong duurzame energieproductie, Eindrapport Schaa sprong Duurzame Energieproductie in Amsterdam, december 2009
- Waternet, Jolanda van Dijk, Eva de Bruin, Watersysteem, globale verkenning van doelen, maatregelen en kosten, juni 2006

GGA, Gemeenschappelijke regeling Groen Gebied Amstelland, 2007

Grontmij, Waternet, Ecologisch onderzoek Noorder IJplas, Gemeente Amsterdam / Stadsdeel Amsterdam-Noord, 1 februari 2007

Maarten de Boer, Koeling, enkele actuele kwesties, 9 november 2009

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Luc Jans, Suzanne Stuijzand, Eddy Lammens & Maarten Platteeuw, Eindrapport Monitoring ROM IJmeer, Analyse van de ontwikkelingen in de periode 1995-2003, 20 september 2005.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Blauwalgen, Cyanobacteriën, 2002

Peter Simoes, Koude uit afval, 2007.

Senter Novem, Warmte in Nederland, januari 2009

Senter Novem, week van de koude, januar 2010

Rob van Mil, Energievoorziening, Kloof tussen denken en doen, in DWA Seminar, Energie (de)centraal schetst problematiek, in: VV+, juni 2008.

Waternet, Globale verkenning van doelen, maatregelen en kosten, 6 april 2006

Powerpoints:

NUON Warmte, Roland Roelen, Duurzame Koude in Amsterdam Zuidas, Presentatie voor Warmtenetwerk-deelnemers op "Dag van Duurzame Koudenetten", Amsterdam, 11 juni 2009

NUON Warmte, Johan Pater, Koudewinning uit diepe plassen Amsterdam Zuidoostlob, 21 maart 2006

Rabobank, Focus op WKO, Wp en geothermie, tbv Nederlands Platform Waterpompen, 15 mei 2008

UR cool, Energiezuinige koeling Eeserwold, Steenwijk, Natuurlijke koude uit een zandwinplas, 11 juni 2009

Websites:

- <http://www.blauwalg.wur.nl/NL/Wat+zijn+blauwalgen/>
- <http://www.capitalcooling.se/>
- <http://www.energiotech.info/koelmachine/theorie/koudemiddelen.htm>
- <http://www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/koudemiddelen-en/>
- [http://www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/koudemiddelen-en/\(h\)cfk's/](http://www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/koudemiddelen-en/(h)cfk's/)
- <http://www.nieuwamsterdamsklimaat.nl/>
- <http://www.raadvanstate.nl/>
- <http://nl.wikipedia.org/wiki/Blauwalgen>