

MILIEU- EN RENDEMENT-ASPECTEN VAN DE WARMTE-VOORZIENING

J.J. HOF

beleidsmedewerker stadsverwarming
en warmte-kracht
EnergieNed, Arnhem, Nederland
Postbus 9042
NL 6800 GD Arnhem

Dit artikel is een bewerking van een voordracht die gehouden is op 24 juni 1993 tijdens het stadsverwarmings-seminarie te Gent.

DE VOORDELEN VAN WARMTE-DISTRIBUTIE

Voordat nader wordt ingegaan op de specifieke milieu- en rendementsvoordelen van warmtedistributie worden eerst de algemene voordelen van stadsverwarming in beeld gebracht: stadsverwarming is milieuvriendelijk, het is een moderne, betrouwbare en veilige techniek met een hoge voorzieningszekerheid. Stadsverwarming is flexibel omdat het kan worden gevoed met meerdere soorten brandstoffen, met aardwarmte, met zonnewarmte, met warmte uit biomassa en met warmte uit andere duurzame energiebronnen, met warmte uit afvalverbrandings-installaties of met restwarmte uit elektriciteitscentrales of uit de industrie. Er is tientallen jaren ervaring mee op gedaan en het is met andere technieken combineerbaar, bijvoorbeeld met geavanceerde warmte-kracht-technieken zoals brandstofcellen. Bivalente uitvoeringen zijn mogelijk waardoor warmtedistributie ook toepasbaar is waar al een aardgasnet ligt. Een warmtedistributienet kan ook in de zomer de koelfunctie verzorgen. Stadsverwarming en stadscooling hebben een goede publieke opinie en een goede pers omdat het energie en brandstof bespaart, omdat het goedkope warmte en koude is en omdat aan de klanten een hoog comfort wordt geleverd. De energieverbruikers hoeven zelf in de woningen geen ketel meer te hebben en er is voor koeling geen apart hoger-temperatuur-circuit in de gebouwen meer nodig. Er zijn geen geluidsproblemen en geen onderhoudskosten meer doordat de ketels en koelmachines in de gebouwen kunnen komen te vervallen en er wordt daardoor ook ruimtewinst in de gebouwen verkregen. Er treden minder warmtelozingen op oppervlaktewateren op, de uitgespaarde brandstof kan bewaard worden of kan extra worden verkocht. Het door stads-

verwarming bespaarde aardgas kan worden gebruikt om milieu-onvriendelijke energie-processen te verbeteren. Door stadsverwarming zijn er geen lokale emissies meer en de immissies zijn lager, wat vooral in stedelijke gebieden bijzonder belangrijk is. Tot slot is warmtedistributie goed voor het milieu-imago van de betrokkenen.

HET NEDERLANDSE ENERGIE- EN MILIEUBELEID

Binnen welke beleidskaders past warmtedistributie?

Door de Nederlandse regering is in 1989 een milieubeleidsplan (het zogenaamde NMP) van kracht geworden. De belangrijkste punten uit dit plan zijn dat de verzurende emissies met 50% naar beneden moeten en de broeikas-emissies met 25% moeten dalen. Daarnaast bestaat de Nota Energiebesparing van het Nederlandse Ministerie van Economische Zaken (EZ), die tot doel heeft om een rationele brandstofinzet en de toepassing van duurzame energiebronnen te bevorderen. De nauw samenwerkende elektriciteitsproduktiebedrijven in Nederland hebben in het Elektriciteitsplan een "Warmteplan" opgesteld, die in de bouw van tien nieuwe warmte-kracht-centrales, van elk ca. 250 MWe voorziet, die in gebieden met hoge warmtevraagdrichtheid zullen worden gerealiseerd. Alle energiedistributiebedrijven in Nederland (verenigd in EnergieNed) hebben in 1991 een Milieu Actie Plan (MAP) [literatuur 1] opgesteld en

o.a. de volgende maatregelen voorzien: de isolatiewaarde bij nieuwe gebouwen moet worden verhoogd, investeringen in isolatie van bestaande woningen wordt gesubsidieerd, gasgestookte verwarmingsketels met hoog rendement en lage NO_x-emissie worden gestimuleerd, energiebesparende huishoudelijke apparaten worden bevorderd, warmtekracht, stadsverwarming, windenergie en nieuwe energieconversietechnologieën worden gestimuleerd.

Centraal in al deze plannen staat de beperking van het energieverbruik. En natuurlijk speelt warmtedistributie, als milieuvriendelijke verwarmingsvorm, in deze plannen een grote rol. De uitstoot van kooldioxide (CO₂) zou door middel van warmte-krachtkoppeling in het jaar 2000 met 3,3 mln ton gereduceerd moeten kunnen worden. Dat is ruim 30% van de totale reductie van CO₂ (9,6 mln ton) die in de doelstelling van het MAP wordt nagestreefd. Stadsverwarming heeft een totaal reductie-potentieel van circa 24 mln ton CO₂ per jaar. Op middellangere termijn zal stadsverwarming worden uitgebreid met circa 2.900 MWe aan warmte-kracht-vermogen. Op langere termijn is het de bedoeling tot een verdrievoudiging van de warmteafzet te komen. Momenteel is in Nederland het Milieu Actie Plan geactualiseerd: de landelijke milieudoelstelling van de energiedistributiebedrijven dient te worden verhoogd van het verminderen van ca 9 miljoen ton CO₂ per jaar naar een reductie van ca 18 miljoen ton CO₂ per jaar in het jaar 2000 ten opzichte van het jaar

Tabel 1: Emissie-vergelijking stadsverwarming en gasverwarming - Bron: EnergieNed [4]

| | NO _x | SO ₂ | CO | CO ₂ | CxHy | Stof |
|---|---------------------------------|-----------------|----|-----------------|------|------|
| | (in gram per GJ nuttige warmte) | | | | | |
| Verwarmen met gas | 43 | 0 | 43 | 69.000 | 6 | 0 |
| Stadsverwarming | 20 | -172 | 0 | -15.000 | 0 | -4 |
| Verklaring in de tabel: | | | | | | |
| * Een minteken betekent dat de emissies lager zijn dan de emissies bij gescheiden opwekking van elektriciteit en warmte | | | | | | |

Tabel 2: Immissie-vergelijking stadsverwarming en gasverwarming - Bron: EnergieNed [4]

| | NO _x | SO ₂ | CO | CxHy |
|---------------------|---|-----------------|-----|------|
| | (in microgram per m ³ buitenlucht) | | | |
| gemiddelde waarden: | | | | |
| Verwarmen met gas | 0.16 | 0 | 0.2 | 0.03 |
| Stadsverwarming | 0.06 | 0 | 0 | 0 |
| maximale waarden: | | | | |
| Verwarmen met gas | 5.8 | 0 | 6.6 | 1.0 |
| Stadsverwarming | 0.7 | 0 | 0 | 0.02 |

Tabel 3: Immissie/emissie-verhoudingen - Bron: EnergieNed [4]

| | gemiddelde | maxima |
|-------------------|------------|--------|
| Verwarmen met gas | 1.0 | 1.0 |
| Stadsverwarming | 0.11 | 0.35 |

Tabel 4: Broeikas-milieuvergelijking - Bron: Ministerie van VROM [5]

| Wijk-grootte | CV-ketels | STEG | Gasmotor |
|--------------------------|--------------------|--------|----------|
| | (in kton per jaar) | | |
| 200 nieuwe woningen | - 0,4 | nvt | + 0,0 |
| 5000 nieuwe woningen | - 10,0 | + 4,5 | + 0,2 |
| 500 bestaande woningen | - 1,6 | nvt | + 0,2 |
| 10000 bestaande woningen | - 30,6 | + 22,0 | + 3,9 |

Verklaringen in de tabel:
 * een positief getal betekent dat het milieu minder belast wordt
 * een negatief getal betekent dat het milieu belast wordt

Tabel 5: Verzuurings-vergelijking - Bron: Ministerie van VROM [5]

| Wijk-grootte | CV-ketels | STEG | Gasmotor |
|--------------------------|--------------------|--------|----------|
| | (in kzeq per jaar) | | |
| 200 nieuwe woningen | - 5 | nvt | - 16 |
| 5000 nieuwe woningen | - 95 | + 449 | - 418 |
| 500 bestaande woningen | - 18 | nvt | - 62 |
| 10000 bestaande woningen | - 292 | + 1563 | - 1278 |

Verklaringen in de tabel:
 * zeq = zuurequivalenten (verzuuring door NO_x en SO₂, waarbij 1 kg NO_x overeen komt met 21,74 zuurequivalenten en 1 kg SO₂ overeen komt met 31,25 zuurequivalenten)
 * kzeq is 1000 zuurequivalenten
 * een positief getal betekent dat het milieu minder belast wordt
 * een negatief getal betekent dat het milieu wordt belast

1990. De extra doelstelling moet onder andere worden bereikt met extra milieuvriendelijke warmtedistributie [2].

DE POSITIEVE MILIEU-EFFECTEN VAN WARMTEDISTRIBUTIE

Voor een goed begrip van de milieuaspecten is het van belang eerst twee milieubegrippen nader toe te lichten. Onder emissie wordt verstaan wat in de lucht wordt gebracht op het punt van lozing. Dit wordt uitgedrukt in gram per GJ brandstof. Onder immissie wordt verstaan het gevolg van de lozing voor de kwaliteit van de lucht op leefniveau. Dit laatste wordt uitgedrukt in mi-

crogram per kubieke meter buitenlucht. Na deze introductie worden de milieu effecten van warmte-kracht-opwekking en warmtedistributie gegeven, worden de mogelijkheden om het milieu te ontzien besproken en wordt ingegaan op de milieu-kosten-effectiviteit van de diverse opties. Rookgassen van verbrandingsinstallaties bestaan hoofdzakelijk uit stikstof, waterdamp en kool-dioxide. Daarnaast ontstaan altijd stikstof-oxiden (NO_x) en afhankelijk van de brandstof, zwaveldioxide (SO₂), koolwaterstoffen (CxHy) en stof. Individuele gasverbruikstoestellen zijn luchtverontreinigingsbronnen binnen een woning. De individuele gasgestookte geyser is een bron van koolmonoxyde (CO) en kooldioxide (CO₂).

Tabel 6: Specifieke broeikasreductie kentallen Bron: Milieu Actie Plan (MAP) [1]

| Technologie | Doelgroep | Broeikas-reductie-effect (in kg CO ₂ per kWe) |
|-------------|-------------------|--|
| Gasmotor | zwembaden | 1603 |
| STEG | gebouwde omgeving | 1596 |
| Gasmotor | ziekenhuizen | 1538 |
| Gasmotor | hotels | 1538 |
| Gasmotor | woningen | 1506 |
| Gasmotor | bejaardentehuizen | 1378 |
| Gasmotor | tuinbouw | 1072 |
| Gasmotor | kantoren | 481 |

Tabel 7: Specifieke verzuurings-reductie kentallen Bron: Milieu Actie Plan (MAP) [1]

| Technologie | Doelgroep | Zuur-reductie-effect (in zeq CO ₂ per kWe) |
|-------------|-------------------|---|
| STEG | gebouwde omgeving | + 73,4 |
| Windenergie | | + 37,1 |
| Gasmotor | kantoren | - 15,4 |
| Gasmotor | bejaardentehuizen | - 44,1 |
| Gasmotor | woningen | - 44,9 |
| Gasmotor | ziekenhuizen | - 49,4 |
| Gasmotor | tuinbouw | - 50,3 |
| Gasmotor | zwembaden | - 50,8 |
| Gasmotor | hotels | - 55,0 |

Verklaring in de tabel:
 * een positief getal betekent dat het milieu minder belast wordt
 * een negatief getal betekent dat het milieu extra belast wordt

Tabel 8: Potentieel beperking broeikas-effect - Bron: MAP [1] en EZ [6]

| Optie | Milieu-potentieel (in mln ton CO ₂ per jaar) |
|--------------------------------|---|
| STEG voor de gebouwde omgeving | tot 8,8 |
| brandstofcellen | tot 5,1 |
| elektrische warmtepompen | tot 2,1 |
| WKK voor de industrie | tot 2,0 |
| afvalverbranding | tot 2,0 |
| aardwarmte | tot 1,6 |
| windenergie | tot 1,4 |
| zonne-energie | tot 0,8 |
| spaarlampen huishoudens | tot 0,6 |
| isoleren van huizen | tot 0,6 |
| verlichting niet huishoudelijk | tot 0,5 |
| HR-ketels in huishoudens | tot 0,4 |
| gasmotor WKK per doelgroep | tot 0,3 |

Rookgasafvoerloze gasgestookte geysers kunnen koolmonoxyde-concentraties (NO) in de keuken geven van meer dan 250 ppm. De NO₂-concentratie in keukens is gemiddeld circa 60 ppb en in woonkamers ruim 30 ppb, gemeteri in een stikstofdioxide onderzoek, uitgevoerd in Arnhem en Enschede [3]. In toekomstige woningen zullen in steeds mindere mate rookgasafvoerloze geysers voorkomen. De concentraties in "elektrische keukens" zijn beduidend lager en in het algemeen op een niveau dat vergelijkbaar is met de ter plekke heersende buitenluchtconcentraties. Moderne toekomstige gas-installaties in woningen zullen nagenoeg altijd van het gesloten type zijn. De bestaande installaties

zullen nog enige tijd functioneren, totdat zij zijn vervangen. Bij huishoudelijke verbrandings-toestellen moet extra-aandacht besteed worden aan de kwaliteit van de installatie omdat bij eventuele gebreken aan rookgasafvoerkanalen ongemerkt rookgasen in de woningen kunnen komen. Door in plaats van individuele stookinstallaties stadsverwarming toe te passen vervallen al deze lokale milieu-problemen omdat dan in de woongebieden geen brandstof meer hoeft te worden verbrand. Bij de productie van warmte treden naast luchtverontreinigingsemissies ook andere milieu-effecten op zoals geluidsemissies, oppervlaktewaterbelasting, veiligheidsaspecten en ruimtebeslag en emissies naar bodem en water. Stadsverwarming levert een duidelijke netto vermindering van thermische oppervlaktewaterbelasting op. Hoogrendements-centrale-verwarmingsketels lozen zwak zuur condenswater in een overwegend basisch riool. In tabel 1 staat per emissie-soort aan te geven hoe de emissies zijn bij het respectievelijk verwarmen met gas in individuele centrale verwarmings-ketels en bij het verwarmen met stadsverwarmingswarmte [4].

Het verspreidingsmechanisme voor distributieve bronnen (bijvoorbeeld individuele verwarming met centrale verwarmings-ketels en geysers) en niet-distributieve bronnen (bijvoorbeeld centrale opwekeenheden voor elektriciteit en warmte) verschilt aanzienlijk. In het eerste geval (oppervlaktebron) is er sprake van verspreiding van veel kleine lage bronnen over een gebied

en in het tweede geval (puntbron) is de emissiehoogte van grote invloed op de buitenluchtconcentraties. Onder de meest voorkomende weersomstandigheden speelt de hoogte van de schoorsteen een grote rol bij de verspreiding van luchtverontreinigingen. Tabel 2 geeft aan hoe bij stadsverwarming en gasverwarming de mate van verspreiding een rol speelt. In tabel 3 is de verhouding tussen de immissie en de emissie bij verwarmen op gas door middel van individuele gasgestookte centrale verwarmings-ketels op 1 gesteld. Uit deze tabel blijkt dat deze verhouding bij stadsverwarming aanmerkelijk gunstiger is. Dit komt door het verschil in aantal lozingspunten en door het verschil in schoorsteenhoogten. Stadsverwarming zorgt dus voor een beter algemeen leefklimaat dan gasgestookte installaties per woning. Het Nederlandse Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM) heeft laten uitrekenen hoe de emissies van stadsverwarming, gasverwarming en kleinschalige warmte-kracht-koppeling zich onderling verhouden [5]. De belangrijkste resultaten staan in de tabellen 4 en 5. In die tabellen staat "CV" voor de gasgestookte centrale verwarmingsketels per woning en "STEG" voor stadsverwarming gevoed met een STEG-WKK eenheid. De afkorting "STEG" betekent "Gecombineerde Stoom- EN Gasturbine-eenheid". De specifieke broeikas-reductie-cijfers staan in tabel 6 en de specifieke zuur-reductie cijfers staan in tabel 7. De door MAP en EZ [1, 6] gehanteerde cijfers voor het broeikas- en verzurings-

vermindering-potentieel kunt u zien in de tabellen 8 en 9. Uit deze tabellen blijkt dat stadsverwarming met STEG-WKK-eenheden een groot potentieel heeft om het broeikas-effect en de verzuring tegen te gaan [zie ook 7 en 8].

DE MILIEU-KOSTEN-EFFECTIVITEIT

De Algemene Energie Raad (AER) heeft de kosten van energiebesparingsopties per bespaarde kubieke meter aardgas berekend [9]. De resultaten staan in tabel 10. Als referentieniveau zijn nieuwe laagbouw-woningen met een jaarlijks aardgasverbruik van 1460 m³ voor ruimteverwarming en voor warm tapwater aangehouden. Onder de milieu-kosten-effectiviteit van een maatregel worden de maatschappelijke kosten verstaan die aan een milieumaatregel verbonden zijn. Door MAP en EZ worden voor de verschillende opties de cijfers gehanteerd als milieukosten-effectiviteit van broeikas verminderende maatregelen zoals ze vermeld staan in tabel 11. Warmtedistributie, met STEG's als produktiemiddel, is dus is een van de meest kosten-effectieve middelen om het milieu te ontzien.

CONCLUSIES

Stadsverwarming en stadskoeling kunnen tot grote energiebesparingen leiden. Deze energiebesparing kan 60 à 90 procent zijn van de brandstof die nodig zou zijn ge-

Tabel 9: Potentieel beperking verzuring - Bron: MAP [1] en EZ [6]

| Optie | Milieu-potentieel (in mln zeq per jaar) |
|--------------------------------|--|
| STEG voor de gebouwde omgeving | tot + 200 |
| Windenergie op land | tot + 33 |

Tabel 11: Milieukosten-effectiviteit broeikas vermindering
Bron: MAP [1] en EZ [6]

| Optie | Milieukosten-effectiviteit (in NLG per ton CO ₂ -reductie) |
|--------------------------------|---|
| STEG voor de gebouwde omgeving | ca - 80 |
| warmtepompen voor de industrie | ca - 55 |
| spaarlampen huishoudelijk | ca - 45 |
| aardwarmte | ca + 35 |
| HR-ketels in huishoudens | ca + 65 |
| gasmotor WKK per doelgroep | ca + 65 |
| WKK voor de industrie | ca + 65 |
| elektrische warmtepompen | ca + 100 |
| afvalverbranding | ca + 100 |
| verlichting niet huishoudens | ca + 110 |
| windenergie | ca + 130 |
| isoleren van huizen | ca + 135 |
| brandstofcellen | ca + 785 |
| zonne-energie | ca + 880 |

Tabel 10: Kosten per bespaarde hoeveelheid aardgas - Bron: AER [9]

| Optie | Kosten (in NLG per m ³ bespaard gas) |
|------------------------|--|
| 250 MWe WKK-STEG | 0,41 |
| extra isolatie | 0,49 |
| HR-ketel | 0,64 |
| 10 MWe WKK-turbine | 0,71 |
| 50 MWe WKK-STEG | 0,83 |
| minimum energie woning | 1,05 |
| 0,5 MWe WKK-gasmotor | 1,22 |

Tabel 12: Milieu-kentallen stadsverwarming (STEG met warmtedistributie)
Bron: Milieu Actie Plan (MAP) [1]

| |
|--|
| <p>Specifieke CO₂-reductie: 134 kg CO₂ per GJ geleverde warmte, ofwel 1596 kg CO₂ per kWe per jaar, ofwel 4352 kg CO₂ per aansluiting per jaar.</p> |
| <p>Specifieke zuur-reductie: 6,2 zeq per GJ geleverde warmte, ofwel 73,4 zeq per kWe per jaar, ofwel 200,1 zeq per aansluiting per jaar.</p> |
| <p>Verklaringen: * kWe: het opgestelde elektrische vermogen van de WK-eenheid * aansluiting: een standaard woning met een aansluitwaarde van 6 kWth en een jaarlijkse warmtevraag van 32,4 GJ</p> |
| <p>Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd: bij de vermeden gescheiden warmte-opwekking is het ketelrendement (inclusief de warmtapwaterproductie) 85 % en bij de vermeden gescheiden elektriciteits-opwekking is de brandstofmix 44% kolen, 40% gas en de rest 16 %.</p> |

weest bij gescheiden opwekking van elektriciteit, respectievelijk bij gescheiden opwekking van warmte en van koude. De milieu-emissies bij stadsverwarming zijn lager dan bij individuele gasgestookte centrale verwarmings-ketels en lager dan bij gasmotor warmte-kracht-installaties. De koolwaterstof- en kool-monoxide-emissies zijn bij individueel verwarmen wel, en bij stadsverwarming vrijwel niet aanwezig. Bij stadsverwarming zijn geen emissiebronnen meer in de woning aanwezig. De bijdrage aan vermindering van het broeikas-effect is zowel bij STEG-WKK-eenheden als bij gasmotor-WKK-eenheden positief. De bijdrage aan de vermindering van de verzuring is door STEG-eenheden positief en is bij gasmotor-WKK-eenheden per saldo negatief. Het Nederlandse overheidsbeleid bestaat uit een tweesporenbeleid. Primair wordt de aandacht gericht op het verminderen van emissies. Naast emissie-vermindering zijn ook immissieverminderende maatregelen nodig. Stadsverwarming leidt gemiddeld tot de laagste immissies. Dit geldt voor alle luchtverontreinigende stoffen. Individueel verwarmen kan ook tot lage gemiddelde concentraties leiden, er komen echter hogere maxima voor bij stikstofdioxiden, bij koolmonoxyde en bij koolwaterstoffen. Individueel verwarmen kan daarnaast ook nog leiden tot een aantasting van het binnenklimaat, indien de rookgassen slecht uit de woningen worden afgevoerd of als er slecht geventileerd wordt. Bij de warmte-kracht-centrales is de verbranding beter te bewaken en er is gemakkelijker in te grijpen dan

bij vele individuele stook-installaties. De kosten van de bestrijding van de emissies zijn dan ook lager onder andere door de schaalvoordeelen. Door de hogere schoorstenen treden er minder immissies op, wat vooral in stedelijke gebieden erg belangrijk is. Stadsverwarming en stadskoeling is zeer gunstig om te komen tot lagere thermische oppervlaktewaterbelasting.

De gunstige resultaten bij stadsverwarming hebben drie oorzaken. In de eerste plaats wordt door gelijktijdige opwekking van elektriciteit en van warmte een zeer hoog energetisch en exergetisch rendement behaald op de verstookte brandstof. En minder brandstof verstoken betekent minder emissies. In de tweede plaats hoeft de elektriciteit die zo wordt gemaakt, niet meer in andere, niet warmteleverende, centrales te worden geproduceerd. In de derde plaats is beperking van de uitstoot van schadelijke stoffen bij opwekking in warmtekracht-centrales beter mogelijk dan bij vele kleine individuele ketels.

In dit artikel zijn cijfers gegeven die op te vatten zijn als algemene gemiddelden voor de Nederlandse situatie. In tabel 12 zijn een aantal algemene milieu-kentallen van warmtedistributie gepresenteerd. Natuurlijk is het zo dat elke specifieke situatie en elk project anders is dan wat als algemeen gemiddelde wordt gezien. Daarom moet er per project altijd een grondige analyse worden gemaakt. Al met al is er in de loop der jaren in Nederland een zeer positieve attitu-

de tegenover warmte-kracht in al haar verschijningsvormen ontstaan. Milieuvriendelijke warmtedistributie, op de juiste schaal bedreven, wordt door de warmte-verbruikers en door de politici op hoge prijs gesteld.

LITERATUUR

1. Milieu Actie Plan van de Energiedistributiesector (MAP-I).
EnergieNed, Arnhem, 14 februari 1991
2. Tweede Milieu Actie Plan van de Energiedistributiesector (MAP-II).
EnergieNed, Arnhem, maart 1994
3. Hof, J.J., Milieuhygiënische consequenties van stadsverwarming.
Elektrotechniek, Jg. 62, Nr. 7, 1984, pg. 595-603
4. Vergelijking van de milieuaspecten van twee energieverzorgingsopties voor het verwarmen van woningen.
EnergieNed, Arnhem, januari 1989
5. Vergelijking van centrale verwarming met stadsverwarming en kleinschalige warmtekoppeling.
Ministerie van VROM, Leidschendam, juli 1991
6. Energie en CO₂ in Nederland op de lange termijn.
Een Verkenning van opties.
Ministerie van EZ, Den Haag, november 1992
7. Economische en milieu-technische effecten van warmte-kracht-koppeling.
Een analyse van de optimale grootte voor nieuwe stadsverwarmingsprojecten.
EnergieNed, Arnhem, 26 oktober 1990
8. Actualisatie van milieukosten-effectiviteit van warmtekrachtvarianten.
EnergieNed, Arnhem, 23 september 1993
9. Advies over energiebesparing bij ruimteverwarming.
AER, Den Haag, november 1991