

# MASTER'S THESIS

**No energy to waste: onderzoek naar het overheidsbeleid ter verbetering van de energieprestaties van de AVI's in Nederland**

**No energy to waste: evaluative research on public policies to improve the energy performance of the WTE-plants in the Netherlands**

Luteijn, J P

**Award date:**  
2009

[Link to publication](#)

## General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain.
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

## Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[pure-support@ou.nl](mailto:pure-support@ou.nl)

providing details and we will investigate your claim.

Downloaded from <https://research.ou.nl/> on date: 20. Mar. 2025

**Open Universiteit**  
[www.ou.nl](http://www.ou.nl)



## **NO €NERGY TO WASTE**

**Onderzoek naar het overheidsbeleid  
ter verbetering van de energieprestaties  
van de AVI's in Nederland**



**Afstudeeronderzoek wo-Master  
Opleiding Milieu-natuurwetenschappen  
Faculteit Natuurwetenschappen**

**J.P. Luteijn  
september 2009**

**OpenUniversiteitNederland**

**[www.ou.nl](http://www.ou.nl)**



## **Colofon**

Naam: J.P. Luteijn  
Adres: Blankenburgse rak 6  
Woonplaats: 3232 HM Brielle  
Studentnummer: 833427333

Afstudeeronderzoek wo-master  
Opleiding Milieu-natuurwetenschappen  
Afstudeeropdracht N 94310

Open Universiteit Nederland  
Faculteit Natuurwetenschappen  
Valkenburgerweg 177  
6419 AT Heerlen

Foto omslag: AVR Afvalverwerking, vestiging Rotterdam-Botlek (Rozenburg)

© Jean Luteijn, Brielle

**No €nergy to waste**

Onderzoek naar het overheidsbeleid  
ter verbetering van de energieprestaties  
van de AVI's in Nederland

**No energy to waste**

Evaluation of Public Policy in Order to Improve  
the Energy Performance of the WTE-Plants  
in the Netherlands



## VOORWOORD

Het rapport dat voor u ligt is het resultaat van een onderzoek ter afronding van de Master of Science Milieu-natuurwetenschappen aan de faculteit Natuurwetenschappen van de Open Universiteit Nederland. Het onderzoek is begeleid door de afstudeercommissie bestaande uit:

Drs. Cobi de Blécourt-Maas	examinator (Open Universiteit Nederland)
Dr. Daisy Tysmans	lid (Open Universiteit Nederland)
Prof. Dr. Lucas Reijnders	extern referent (Universiteit van Amsterdam)
Drs. Pieter Geluk	afstudeercoördinator (Open Universiteit Nederland)

Als eerste wil ik mijn begeleiders Cobi en Lucas bedanken voor hun uitstekende begeleiding. Lucas voor zijn zeer kritische en vooral snelle terugkoppeling, Cobi voor de inhoudelijke steun en adviezen en de gelegenheid om je op ieder moment te mogen bellen. Door jullie begeleiding was het mogelijk om dit onderzoek naast een drukke baan met bijzondere uitdagingen en gezinsleven te voltooien. Al ging het per e-mail, jullie waren voor mij echt een team.

In het bijzonder wil ik Sylvia bedanken, die al die (zon)dagen dat ik achter mijn bureau zat, me bleef steunen. Na een verhuizing, twee groot geworden kinderen, aanleg van tuin, een nieuwe baan en nog wat ervaringen is het eindelijk afgerond.

Lieve Wouter en Sophie, papa zijn "scriptie" is klaar.

Jean Luteijn  
25 september 2009



## SAMENVATTING

De overheid heeft middels subsidieregelingen afvalverbrandingsinstallaties gestimuleerd meer duurzaam te gaan produceren. De verschillende regelingen, REB-, MEP- en SDE-regeling, volgden elkaar snel op en veranderden steeds wat betreft voorwaarden. Het is niet duidelijk of de regelingen daadwerkelijk een duurzamere productie van energie bij de afvalverbrandingsinstallaties hebben bevorderd.

Tegen deze achtergrond zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

- Op welke wijze is de energie-efficiency van AVI's in Nederland bevorderd door het gevoerde overheidsbeleid?
- Welke uitgangspunten/randvoorwaarden zijn geschikt voor vervolgsbeleid?

### kern van het onderzoek

De kern van het onderzoek vormt de evaluatie van drie subsidieregelingen: Het REB-convenant, de MEP-regeling en de SDE-regeling voor de AVI's. Daarvoor is een rendementsmodel voor AVI's ontwikkeld op basis van energie. Het beoordelingscriterium voor een AVI is gedefinieerd op basis van energie- en exergierendement, respectievelijk efficiency en doelmatigheid, zodanig dat de omvang of kwaliteit van de geleverde warmte geen rol speelt. Dat laatste doordat de prestatie-indicatoren zijn uitgedrukt als functie van de Combined Heat- and Power ratio (CHPR).

Ter verklaring van de bevindingen is een Root Cause (RCA) analyse uitgevoerd, een methode van denken in oorzaak en gevolg, ontworpen en toegepast om incidenten in onder meer de luchtvaart en procesindustrie te onderzoeken.

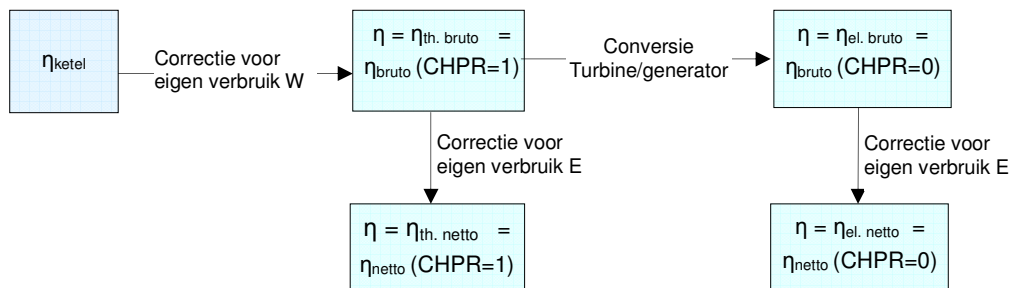
### resultaten

Op basis van een beschrijving van het proces van terugwinning en levering van energie door de AVI's en de mogelijke uitvoeringsvarianten daarvan, is het Warmtekrachtkoppeling (WKK)-diagram ontwikkeld. In het diagram wordt het rendement van een AVI weergegeven tegen de relatieve omvang van de eventuele warmtelevering.

Op basis daarvan kan elke installatie worden beoordeeld door vijf installatie specifieke rendementen op basis van energie en exergie. Dit zijn:

- het ketelrendement;
- het intrinsiek bruto thermisch rendement, CHPR=1;
- het intrinsiek netto thermisch rendement, CHPR=1;
- het intrinsiek bruto elektrisch rendement, CHPR=0;
- het intrinsiek netto elektrisch rendement, CHPR=0.

Figuur S.1 geeft weer hoe de rendementen ten behoeve van dit onderzoek zijn gedefinieerd dan wel moeten worden geïnterpreteerd.

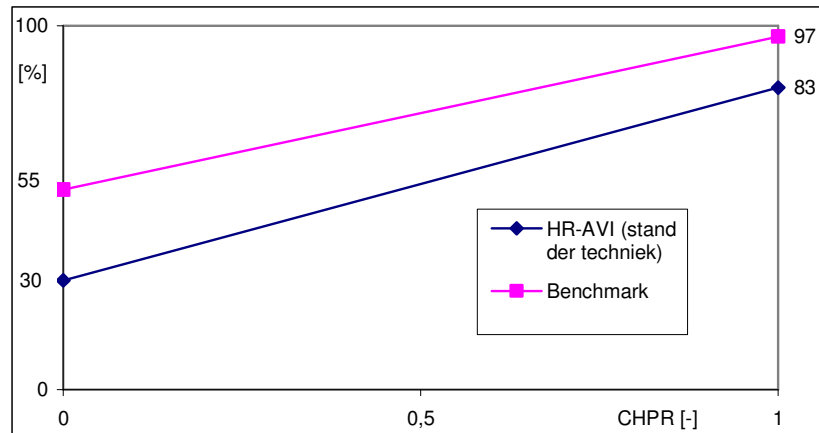


Figuur S.1 Onderlinge samenhang van het Intrinsiek thermisch- en elektrisch rendement

De rendementen kunnen worden bepaald op basis van zowel energie als exergie. Daartoe is een thermodynamisch onderbouwde verhouding tussen de exergie en enthalpie van het afval gedefinieerd. Ook is uitgewerkt hoe deze kwaliteitsfactor voor het afval door de AVI's continu kan worden gemeten.



In het streven naar een duurzame energievoorziening zijn alleen de netto rendementen van de belang, waarbij wordt gecorrigeerd voor het eigen verbruik van de installatie. In figuur S.2 zijn het intrinsiek netto rendement van een verbrandingsinstallatie conform de stand der techniek en de benchmark (STEG-eenheid respectievelijk gasgestookte HR ketel) als functie van de CHPR weergegeven.



Figuur S.2 Energie rendement HR-AVI versus benchmark (STEG, HR Cv-ketel)

Uit figuur S.2 blijkt dat het energierendement tussen het intrinsiek elektrisch rendement (CHPR=0) en het intrinsiek thermisch rendement (CHPR=1) ligt. Het in de praktijk te realiseren rendement is afhankelijk van de mate waarin warmte wordt geleverd. Uit de figuur blijkt dat ook een AVI conform de stand der techniek, beter warmte kan leveren dan elektriciteit opwekken. Dezelfde conclusie geldt indien de bijdrage in termen van vermeden fossiele brandstof of vermeden fossiele CO<sub>2</sub> tegen de CHPR worden uitgezet.

#### Evaluatie en conclusie subsidieregelingen

De drie subsidieregelingen zijn op basis van de ontwikkeling van het intrinsiek netto thermisch rendement en het intrinsiek netto elektrisch rendement geëvalueerd:

##### a. REB-convenant (ex post)

Het doel van de regeling was een efficiënt gebruik van energie te stimuleren. Twee van de elf AVI's hebben specifiek maatregelen ter verbetering van genoemde rendementen genomen. Voor de overige AVI's zijn de rendementen gelijk gebleven of, als gevolg van optimalisatie van de afvaldoorzet, zelfs afgenomen.

Conclusie;

- De doelstelling van het convenant, de totale hoeveelheid energie uit afval met 23% te verhogen zou ook zonder het REB-convenant, i.c. de subsidies van circa 70 miljoen euro zeker zijn gehaald. De specifieke maatregelen, die ter verbetering van het rendement zijn genomen, hadden een terugverdientijd van 5 tot 6 maanden.
- Omdat groene stroom was vrijgesteld van belasting en op basis van EU-regels buitenlandse producenten niet mochten worden uitgesloten is veel subsidiegeld (belastinggeld) weggelekt naar het buitenland.

##### b. MEP-regeling (ex post)

Bij deze regeling ging het om de onrendabele top van de bedrijven te subsidiëren. Daarbij werd, net als bij de REB-regeling, alleen levering van elektrisch vermogen beloond.

Conclusie:

- De MEP-regeling heeft voor drie installaties niet geleid tot verbetering van intrinsiek netto thermisch en elektrisch rendement of de CHPR.
- Voor de overige AVI's is de regeling te kort van kracht geweest om mogelijk effect te kunnen hebben. Voor zover bekend hebben die (met het oog op eventuele MEP-

subsidie) zelf ook geen specifieke maatregelen ter verbetering van de rendement of CHPR genomen.

- Van de installaties die (mogelijk) wel MEP-subsidie kregen, is het intrinsiek netto thermisch rendement, het intrinsiek elektrisch rendement alsmede de CHPR per AVI, niet toegenomen.
- Drie reeds gerealiseerde projecten kwamen achteraf alsnog voor MEP-subsidie in aanmerking. Voor de HR-AVI (biomassa energie centrale) geldt dat zij met de tussentijdse aanpassing van de voorwaarden een hoger subsidiebedrag per MWh kreeg. Dit terwijl het project al onomkeerbaar was.
- Zeker € 44 miljoen, van de in totaal € 98 miljoen die met de regeling is gemoeid, kunnen als beloning achteraf worden gezien.

c. SDE-regeling (ex ante)

Op basis van een kwalitatieve beoordeling (evaluatie ex ante) blijkt dat de SDE-regeling, net als de MEP-regeling, alleen aanstuurt op een zo hoog mogelijk intrinsiek elektrisch rendement.

Conclusie:

- De inkomsten voor AVI's uit de SDE-regeling nemen met levering van warmte direct af;
- Voor zover nieuwe AVI's door levering van warmte voor MEP-subsidie in aanmerking willen komen, hebben zij er gelet op de inkomsten uit de SDE-regeling geen belang bij een hoger SDE-rendement dan 22% netto na te streven;
- Met de anno 2009 nog in aanbouw zijnde verbrandingscapaciteit is storten van brandbaar afval in Nederland niet meer nodig. Reeds in aanbouw zijnde AVI's zullen niet meer voor SDE-subsidie in aanmerking komen en bestaande AVI's worden bij voorbaat uitgesloten;
- De SDE-regeling zal niet leiden tot verbetering van het intrinsiek elektrisch rendement, of de CHPR. Dit geldt voor zowel de reeds bestaande ovens als de nog in aanbouw zijnde installaties. Dit komt doordat, net als bij het REB-convenant en de MEP-regeling, geen rekening wordt gehouden met de WKK-functie van de AVI's. De potentiële winst in termen van vermeden fossiel of CO<sub>2</sub> blijft hiermee, met name voor de bestaande AVI's, onbenut;
- Alleen geleverd elektrisch vermogen afkomstig van de hernieuwbare fractie wordt beloond.

*Eindconclusie*

Het gevoerde overheidsbeleid ter bevordering van de energieprestaties van de AVI's heeft, in ieder geval voor de bestaande installaties, niet geleid tot verbetering van de in dit onderzoek gedefinieerde rendementen. Een uitzondering hierop is wellicht de HR-AVI van het Afval energie bedrijf van de gemeente Amsterdam. Daar heeft de oorspronkelijke MEP-regeling in ieder geval een rol gespeeld bij het besluit tot realisatie van de installatie.

Het monitoring protocol schrijft voor hoe de bijdrage van de AVI's aan de productie van de duurzame energie, uitgedrukt in vermeden fossiel en CO<sub>2</sub> moet worden berekend. De uitkomst heeft echter geen fysische betekenis. Indien gecorrigeerd wordt voor het aandeel fossiel in het afval en daarmee de verbonden eigen uitstoot aan fossiele CO<sub>2</sub>, is de werkelijke bijdrage van de AVI's in termen van vermeden fossiel nagenoeg nihil.

In de afgelopen tien jaar verspilde of weggelekte subsidiegelden bedragen voor de 11 AVI's circa 114 miljoen euro. Voor de twee AVI's die MEP-subsidie krijgen bedraagt het bestaande commitment circa 72 miljoen euro. Voor de drie biomassa energiecentrales die MEP-subsidie krijgen is dat circa 460 miljoen euro. Voor de twee AVI's die SDE-subsidie toegekend hebben gekregen bedraagt het totale commitment 187 miljoen euro.

*Uitgangspunten en aanbevelingen voor vervolgbesluit*

De installatie-eigen rendementen (zie figuur S1) zijn zeer bruikbaar gebleken om inzicht te krijgen in de werkelijke energieprestaties van een AVI. Dat geldt ook voor het toepassen van de Root Cause analysis bij beleidsrelevante problemen.

Voor de AVI's, die geen invloed hebben op de samenstelling van de brandstof in het afval is uitsluitend verbetering van de efficiency relevant. Dat kan worden bereikt door in te zetten op

levering van meer (rest)warmte. Juridische instrumenten hebben daarbij de voorkeur boven economische instrumenten opdat preventie, hergebruik en nuttige toepassing niet worden gefrustreerd. Bovendien kan zo een gelijk speelveld worden gewaarborgd, ook op Europees niveau. In beide gevallen moeten criteria op basis van de hier gedefinieerde en in het WKK-diagram weer te geven kentallen leidend zijn.

De relevantie van de bijdrage in termen van vermeden primaire of fossiele brandstof en CO<sub>2</sub> beperkt zich tot het vergelijken van alternatieven op doelmatigheid en eventueel vaststelling van de bijdrage aan de productie van energie uit hernieuwbare bronnen.

Het is van belang om met behulp van de installatie-eigen rendementen (WKK diagram, figuur S.2), de eisen krachtens de IPPC-richtlijn, de criteria voor nuttige toepassing uit de Kaderrichtlijn Afval maar ook criteria voor eventueel toekomstige subsidieregelingen op elkaar af te stemmen.

## Executive SUMMARY

**Design of the research.** The core of the research is the evaluation of three subsidy schemes: the so called REB-Covenant, the MEP-scheme and the SDE-scheme as applied to Waste to energy (WTE-) plants in the Netherlands.

**Implementation of the work.** Based on a description of the process of WTE-plants (Chapter 3), a combined heat and power (CHP) diagram was defined. In this diagram, the CHP-ratio (CHPR) for a WTE-plant displays the relative size of any heat supply. The CHPR is defined as the ratio between the amount of heat delivered and the amount that could in theory be delivered. A CHPR = 0 means that the delivery of heat to third parties is nil. A CHPR = 1 means that, in so far as technically possible, all heat is sent to third parties.

For the assessment of energetic performance, in addition to the well known boiler efficiency, four plant or installation specific performance indicators were defined. On the basis of these indicators any installation can be assessed, regardless of whether and how much heat is delivered. The rates are applicable for both energy (enthalpy) and exergy. For the waste a thermodynamic solid relationship between exergy and enthalpy is defined. It is pointed out how the here proposed ratio between exergy and energy can be measured continuously by the plants.

**Results of the policy pursued to date (research question A).** The three subsidy arrangements studied did not improve the energetic performance, as measured by the indicators proposed here, in almost all Dutch WTE plants. The exception to this is, perhaps, the high yield WTE-plant (the so called HR-AVI) of the Afval Energie Bedrijf Amsterdam. The MEP-regulation was a factor in the decision to build this WTE plant.

Within the framework of the subsidy arrangements a monitoring protocol has been used by the government to determine the amount of fossil fuel consumption, and the associated emission of CO<sub>2</sub>, avoided by the WTE-plants. The results obtained by this monitoring protocol are shown to have no physical meaning. When adjusted for the proportion of fossil fuel derived substances in the waste and in view of the relatively low efficiency of the WTE plants, if compared state-of-art fossil fuel-fired power plants, avoided fossil fuel consumption and associated CO<sub>2</sub> emissions are roughly nil.

**Principles and recommendations for future policy (research question B).** For the WTE-plants, which do not affect the composition of fuel only the improvement of the efficiency is of supreme relevance. This can be achieved by focussing on the delivery of (more) residual heat. Legal instruments are preferred over economic instruments, but in both cases, the criteria should preferably be based on the performance indicators and the CHPR-diagram proposed here.

It is recommended to use the performance indicators and the CHPR-diagram proposed here within the framework of the European Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Directive, the European Waste Framework Directive and national regulations.

# INHOUDSOPGAVE

<b>VOORWOORD</b>	<b>IV</b>
<b>SAMENVATTING</b>	<b>VI</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>X</b>
<b>INHOUDSOPGAVE</b>	<b>XI</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1 Afvalstoffenbeleid in Nederland	1
1.2 Duurzame energiebeleid in Nederland	5
1.3 Stimuleringsregelingen voor produktie van (meer) duurzame energie	5
1.4 Bijdrage van de AVI's in de prouktie van duurzame energie	8
<b>2 Probleemstelling, vraagstelling en methode van onderzoek</b>	<b>11</b>
2.1 Probleemstelling	11
2.2 Vraagstelling	12
2.3 Methode van onderzoek	13
2.4 Afbakening van het onderzoek	14
2.5 Opbouw en indeling van het rapport	15
<b>3 Energiewinning uit afval</b>	<b>17</b>
3.1 Inleiding	17
3.2 Opwekking en levering van energie	17
3.2.1 De stoom- en waterkringloop; uitvoeringsvarianten	17
3.2.2 Ontwerp van de stoom- en waterkringloop	19
3.2.3 Optimaliseren van bestaande installaties	20
3.2.4 Energierendement van de AVI: praktijk versus ontwerp	21
3.3 Bestaande prestatie-indicatoren voor beleidsdoeleinden	22
3.3.1 Energierendement: efficiency van de energielevering	22
3.3.2 Energierendement op basis van een kwaliteitsfactor voor geleverde warmte	22
3.3.3 Vermeden fossiel en CO2: afval als (deels) hernieuwbare energiebron	23
3.4 Samenvatting en conclusies	24
<b>4 Criterium ter beoordeling van de energieprestaties van een AVI</b>	<b>27</b>
4.1 Inleiding	27
4.2 Rendement op basis van energie	27
4.2.1 Definitie van de Combined heat & power ratio (CHPR) functies	27
4.2.2 Installatie specifieke rendementen	28
4.2.3 Intrinsiek elektrisch en thermisch rendement	29
4.3 Rendement op basis van exergie	29
4.3.1 Installatiespecifieke rendementen	30
4.3.2 Intrinsiek thermisch en elektrisch rendement	30
4.4 Criterium op basis van vermeden fossiel en CO2	31
4.4.1 Installatie-eigen kentallen	31
4.4.2 WKK-diagram: CHPR-functies	32
4.5 Samenvatting	32
<b>5 Het REB-convenant (evaluatie ex post)</b>	<b>35</b>
5.1 Inleiding	35
5.2 Beleids- en convenantsproces	35
5.3 Resultaten van het convenant	37
5.3.1 Vermeden primaire en fossiele brandstof	37
5.3.2 Vermeden CO2	39
5.3.3 Klassiek rendement (energie en exergie)	41
5.3.4 Intrinsiek thermisch en elektrisch rendement	41
5.4 Financiële aspecten voor de AVI's	43
5.5 Kosteneffectiviteit van de regeling	45
5.6 Immateriële aspecten	47
5.7 Bevindingen van de evaluatie (discussie)	48
5.8 Samenvatting en conclusies	51

<b>6</b>	<b>MEP-regeling voor de AVI's (evaluatie ex post)</b>	<b>53</b>
6.1	Inleiding	53
6.2	Opzet en contouren van de MEP-regeling.	53
6.3	Toekenning van MEP-subsidie aan de AVI's	54
6.4	<b>Uitvoering en resultaten van de regeling voor de AVI's</b>	<b>56</b>
6.4.1	AVR Duiven: lijn 2	56
6.4.2	AZN Moerdijk: lijn 1 t/m 3	57
6.4.3	Afval energiebedrijf: HR-AVI	57
6.4.4	AVI Twente BV: lijn 1 en 2	58
6.5	<b>Bevindingen en discussie</b>	<b>59</b>
6.5.1	Bevindingen met betrekking tot de MEP-regeling voor de AVI's	59
6.5.2	Overige bevindingen	61
6.6	<b>Samenvatting en conclusies</b>	<b>62</b>
<b>7</b>	<b>SDE-regeling voor de AVI's (evaluatie ex ante)</b>	<b>65</b>
7.1	Inleiding	65
7.2	Totstandkoming en opzet van de SDE-regeling	65
7.3	Technisch haalbare potentieel	66
7.4	Bedrijfseconomisch haalbare potentieel	66
7.5	<b>Juridische kaders</b>	<b>68</b>
7.5.1	EU Richtlijn ter bevordering van energie uit hernieuwbare bronnen	68
7.5.2	IPPC-richtlijn	68
7.5.3	Kaderrichtlijn Afval	70
7.6	<b>SDE-regeling voor de AVI's</b>	<b>72</b>
7.6.1	Mogelijke betekenis van de SDE-regeling voor de AVI's	72
7.6.2	Uitvoering van de SDE-regeling tot nu toe	73
7.7	<b>Conclusie</b>	<b>74</b>
<b>8</b>	<b>Discussie, conclusies en aanbevelingen</b>	<b>77</b>
8.1	<b>Discussie</b>	<b>77</b>
8.1.1	REB-convenant	77
8.1.2	MEP-regeling	78
8.1.3	SDE-regeling	78
8.1.4	Beleid met betrekking tot energiewinning uit afval in het algemeen	79
8.1.5	Opzet en methode van onderzoek	81
8.1.6	Uitvoering van het onderzoek	82
8.2	<b>Eindconclusies</b>	<b>82</b>
8.2.1	Resultaten van het tot nu toe gevoerde beleid voor de AVI's (subvraag A)	82
8.2.2	Uitgangspunten voor vervolgbesluit (subvraag B)	83
8.2.3	Overige bevindingen	83
8.3	<b>Aanbevelingen</b>	<b>84</b>
8.3.1	Voor beleid	84
8.3.2	Voor onderzoek	84
	<b>Referenties</b>	<b>86</b>
	<b>Afkortingen en begrippen</b>	<b>93</b>
	<b>Bijlagen</b>	
1.	Interviews t.b.v. de evaluatie van het REB-convenant	95
2.	Afvalverbrandingsinstallaties in Nederland	97
3.	Ontwerpendement van een AVI, kwantitatieve uitwerking	101
4.	Energierendement van AVI's, beperkingen bij het ontwerp	105
5.	Bestaande beoordelingscriteria voor de AVI's	107
6.	Exergie van fossiele en thermische energie	111
7.	Exergie van het thermisch verwerkte afval	115
8.	Bepaling adiabatische vuurhaardtemperatuur bij afvalverbranding	119
9.	Berekening van de vermeden fossiel en CO2 in dit onderzoek	121
10.	Uitgangspunten evaluatie van de REB-regeling voor de AVI's	125
11.	Financiële aspecten van de REB-regeling voor de AVI's	127

12. Installaties die voor MEP-subsidie in aanmerking kwamen	133
13. MEP-regeling voor de Biomassa Energie Centrales	137
14. Uitwerking van het WKK-diagram voor de vijf mogelijke turbineconfiguraties.	141
15. Oorzaak- en gevolg diagram met betrekking tot het REB-convenant	147
16. Oorzaak- en gevolg diagram met betrekking tot de MEP-regeling	149
17. MEP-vergoedingen voor de Afvalverbranders	151
18. Technisch haalbare energie- en exergierendement	153
19. SDE-regeling voor de AVI's	159
20. BBT met betrekking tot energie uit afval	161
21. Betrouwbaarheidsinterval berekende installatie-eigen rendementen	165
22. Energiegegevens van de 11 AVI's (evaluatie REB- en MEP-regeling)	169

# 1 Inleiding

## 1.1 Afvalstoffenbeleid in Nederland

In het begin van de twintigste eeuw werden in Rotterdam (1917) en Amsterdam (1919) de eerste verbrandingsovens in bedrijf gesteld. Eind jaren zestig waren er 9 AVI's met een totale capaciteit van ongeveer 2,5 miljoen ton afval per jaar. Het grootste deel van het brandbaar afval werd nog gestort, gevaarlijk afval werd op zee verbrand. Op stortplaatsen werd nog nauwelijks stortgas terug gewonnen.

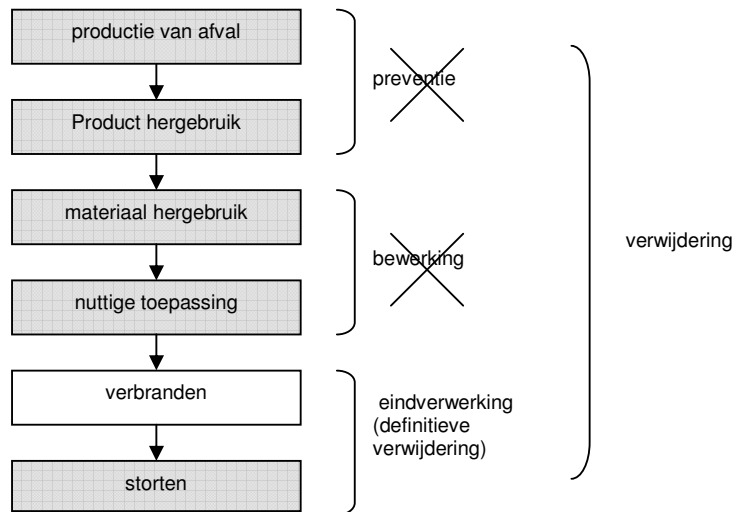
In 1979 werd door de Tweede Kamer (TK) daarom de motie van de heer Lansink aangenomen, waarin een rangorde voor de afvalverwijdering werd voorgesteld (Tweede Kamer, 1979):

- Ontstaan van afval waar mogelijk beperken;
- Materialen en producten gebruiken die het milieu zo min mogelijk belasten;
- Materialen en producten gebruiken die meermalen kunnen worden hergebruikt;
- Verwijdering onder omzetting in energie;
- Verwijdering anders dan het afval in de bodem brengen of het omzetten in energie;
- Verwijdering door het afval in of op de bodem te brengen.

Door de motie werd de erkenning van het belang van een milieuhygiënisch verantwoorde verwerking, van de publieke agenda naar de politieke agenda verplaatst.

In 1988 werd in de motie van Roosen - Van Pelt en Lansink verzocht om de voorkeursvolgorde als richtsnoer voor het overheidsbeleid in de toekomstige afvalstoffenwetgeving te hanteren. Tevens werd er op aangedrongen om - onschadelijke, onbrandbare en onvermijdbare afvalstoffen uitgezonderd - een stortverbod in de wet op te nemen (Tweede Kamer, 1988). Als in 1994 de afvalstoffenwet opgaat in de Wet Milieubeheer, wordt de Ladder van Lansink als uitgangspunt van beleid in artikel 10.4 van de Wet milieubeheer ook wettelijk verankerd (Wet van 13 juni 1979).

In figuur 1.1 is deze tot op heden gehanteerde voorkeursvolgorde op basis van de daarbij gebruikte begrippen<sup>1</sup> schematisch weergegeven.



Figuur 1.1 prioriteitsvolgorde bij afvalverwijdering (1e inkadering)

<sup>1</sup> Definities zoals door het Afval Overleg Orgaan gehanteerd in het Tienjarenplan Afval (TJP-A 1995-2005). Omzetting in energie kan middels een thermisch proces (verbranden) of een biologisch proces (vergisten).



## **Organisatie en strategie van het afvalstoffenbeleid**

In 1989 werd door de commissie Welschen in haar rapport "*Voorstel tot vernieuwing van het afvalstoffenbeleid*" geconcludeerd dat de organisatie van het afvalstoffen beleid versnipperd en kleinschalig was (Afval Overleg Orgaan, 2000). Grootschalige verbranding van afval met terugwinning van energie en scherpere milieuhygiënische eisen vroegen om een landelijk georiënteerde organisatie van de verwijdering, al was het maar om de kosten beheersbaar te houden.

Het advies van de commissie Welschen leidde in 1990 tot de oprichting van het Afval Overleg Orgaan (AOO). Het doel daarvan was om de verwijdering voor acht brandbare afvalstromen<sup>2</sup> op landelijk niveau te sturen. Dit bestuurlijke overlegplatform kreeg zelf geen formele status, de uitvoering van het beleid bleef een verantwoordelijkheid van de drie bestuurslagen. De voor de AVI's meest relevante taak is om, ten behoeve van de capaciteitsplanning voor eindverwerking, jaarlijks de prognoses voor aanbod van afval te actualiseren. De prognoses werden vastgelegd in het Tienjarenprogramma Afval (TJP-A, 1995-2005) en het Meerjarenplan Gevaarlijk Afval (MJP-GA).

Medio jaren negentig ontstond behoefte aan een nieuwe lange termijn visie met betrekking tot het afvalbeheer. Aanleiding hiervoor waren onder meer gemaakte afspraken binnen de Europese Unie (EU), de organisatie voor economische samenwerking en ontwikkeling (OESO) en de Verenigde Naties (VN). Afspraken die in nationale wetgeving moesten worden omgezet. Verder waren de afvalbedrijven inmiddels professioneler en grootschaliger geworden, waardoor provinciale en ook landelijke grenzen vervaagden. Eind 1996 bracht de Commissie Epema, waarin zowel de politiek als de afvalsector en bedrijfsleven waren vertegenwoordigd, haar advies uit. De belangrijkste conclusie was dat de organisatie van de afvalverwijdering niet was ingericht op de veranderde omstandigheden. Technische en economische ontwikkelingen zouden daardoor worden belemmerd. De verdeling van afvalstromen kon aan de markt worden over gelaten, zij het dat die - gelet op de karakter van de bedrijfstak - altijd geconditioneerd zou moeten zijn. De aanbevelingen van de commissie waren:

- a. Breng de prijs van storten in lijn met de gewenste beleidsvoorkeur van verwijderen. Het tarief voor storten van brandbaar afval moet op korte termijn verhoogd worden tot het niveau van de duurste AVI;
- b. Hef de interne (provincie)grenzen voor afval op;
- c. Stel voor alle afvalstromen één landelijk afvalbeheer plan (LAP) op voor de gehele keten van verwerking..

### **Ad a. Stortverbod op brandbaar afval en heffing op storten brandbaar afval**

Midden jaren negentig was het streven om, gelet op de beperkte verbrandingscapaciteit, hergebruik te stimuleren. Een probleem was echter dat storten goedkoper was dan verbranden. Dit kwam vooral doordat de AVI's, begin jaren negentig, hun ovens van een uitgebreide rookgasreiniging hadden voorzien. Sinds 1996 geldt daarom voor 27 afvalstoffen, waaronder huishoudelijk afval (HHA) en daarop gelijkend bedrijfsafval (BA) een stortverbod. Alleen bij een overschot aan brandbaar afval c.q. te kort aan verbrandingscapaciteit wordt ontheffing van het verbod verleend. Van overschot is pas sprake als alle 11 AVI's een verklaring van vollast hebben afgegeven. Daarnaast wordt in mei 1998 een moratorium op verbrandingscapaciteit aangekondigd (Tweede Kamer, 1999). De reden daarvoor was dat uitbreiding van AVI-capaciteit hergebruik van reststoffen zou ontmoedigen. Bovendien vond de overheid het energierendement van de AVI's te laag.

Met het stortverbod en het moratorium wilden het ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM) en het AOO vermijden dat de capaciteit van de 11 AVI's met nieuwe roosterovens zou worden uitgebreid. Uitbreiding of nieuwbouw zou slechts worden vergund indien de installatie een energetisch rendement van 30% of hoger zou hebben. Daarmee werd gedoeld op wervelbedverbranding of vergassing, technieken waarvan het energetisch rendement hoger zou zijn dan de in alle AVI's toegepaste roosteroven technologie.

Bij het instellen van het moratorium speelden ook economische motieven een rol. Verbranden was nog steeds duurder dan storten en met name de twee duurste AVI's, de ARN in Weurt en de VAM (thans Essent) in Wijster, waren niet volledig bezet. In het AOO vertegenwoordigde gemeenten hadden om twee redenen zelf belang bij het tegengaan van verdere leegloop van

---

<sup>2</sup> De AOO afvalstromen zijn: HHA, GHA, BSA, KWD, IA, RDA, SA en niet specifiek ziekenhuisafval (ZHA).

de AVI's. Ten eerste waren ze zelf aandeelhouder, anno 1997 was nog 72% van de AVI capaciteit eigendom van gemeenten. Ten tweede hadden diezelfde gemeenten meerjarige contracten met de AVI's afgesloten. In ruil voor kostprijs gerelateerde verbrandingsstarieven hadden ze zich voor langere tijd verplicht om het ingezamelde afval bij de "eigen" AVI aan te bieden. Bij achterblijvende aanvoer of leegloop van de installaties zouden de hogere exploitatiekosten middels nacalculatie op deze "gebonden gemeenten" worden afgewenteld<sup>3</sup>.

Ondanks het tekort aan verbrandingscapaciteit wil de overheid het storten van brandbaar afval voorgoed ontmoedigen. Tussen 1998 en 2001 wordt daarom de heffing op basis van de Wet belastingen op milieugrondslag (Wbm)(Wet van 23 december 1994) zodanig verhoogd dat storten duurder werd dan verbranden<sup>4</sup>.

#### **Ad b. marktwerking op nationale schaal**

Begin 2000 zijn voor brandbaar afval de provinciegrenzen geopend. Reden daarvoor was dat de centrale overheden, ook vertegenwoordigd in het AOO, verdere leegloop vreesden van de duurste AVI's: ARN Weurt en Essent Wijster (Dijkgraaf, Aalbers & Varkevisser, 2001). De twee installaties die in voorscheiding van afval hadden geïnvesteerd. Met name de installatie van de VAM (thans Essent) in Wijster kende sinds de opstart in 1996 een exploitatietekort. De aanvoer van de gebonden gemeenten bleek lager dan verwacht, bovendien ging de opstart van de geïntegreerde scheiding- en verbrandingsinstallatie gepaard met technische problemen. In de installatie van ARN bleef na voorscheiding van het huishoudelijk afval een residu over, dat alsnog met een heffing krachtens Wbm moest worden gestort. Daardoor was de kostprijs, ooit begroot op 73 Euro per ton, eind jaren negentig opgelopen tot 118 Euro per ton<sup>5</sup>.

#### **Ad c. landelijk afval beheerplan**

Met het loslaten van het beginsel van de regionale zelfvoorziening viel ook de grondslag voor de bevoegdheden van de provincies weg. Het Tienjarenprogramma's afval (TJP-A 1995-2005) van het AOO en het Meerjarenplan Gevaarlijke afvalstoffen (MJP-GA II) van het IPO worden samengevoegd tot een, door de minister van VROM vast te stellen, Landelijk afvalbeheer plan (LAP). Dit plan zal geldig zijn voor de duur van 4 jaar, maar tevens een doorkijk geven voor een termijn van 10 jaar.

In 2000 start het AOO met het opstellen van het eerste plan, het "LAP 2002 – 2012" (Afval Overleg Orgaan, 2001). Hierin worden het beleid en beheer beschreven voor alle afvalstoffen waarop de Wet milieubeheer van toepassing is. Door het opstellen van milieueffectrapporten (MER) is per afvalstroom de minimumstandaard voor de verwerking vastgelegd. Als in mei 2002 het gewijzigde hoofdstuk afvalstoffen van de Wet milieubeheer in werking treedt, krijgt het LAP een wettelijke status. Vaststellen van het beleid en capaciteitsplanning worden definitief een verantwoordelijkheid van het Rijk. De Provincies blijven bevoegd gezag met betrekking tot het verlenen en handhaven van de vergunningen, zij het dat het ministerie van VROM voor het verlenen van de milieuvergunning wel een verklaring van geen bedenkingen (VVGB) moet afgeven.

In het ontwerp-LAP wordt verbranding in een AVI als definitieve verwijdering aangemerkt (AOO, 2001). Een noodzakelijke voorziening waarvoor de overheid de beschikbaarheid en kwaliteit dient te garanderen. De grootste spelers op de markt voor afvalverwerking zagen, gelet op het opengaan van de grenzen binnen Europa, marktwerking en privatisering juist als noodzaak om te overleven. De sector zelf wenste de regulering van verbrandingscapaciteit door het AOO los te laten (Noordhoek, 2001).

Mede op inspraak van de afvalbedrijven wordt het LAP aangepast en komt de capaciteitsplanning voor verbranding te vervallen. Als op 1 juli 2003 het moratorium wordt opgeheven komt ook de eis van een rendement van minimaal 30%<sup>6</sup> te vervallen (Ministerie van VROM, 2002). De overheid verwacht dat door realisatie van nieuwe verbrandingscapaciteit voor hoog calorische afvalstromen de AVI's een grotere bijdrage in termen van vermeden CO<sub>2</sub>

---

<sup>3</sup> Elsevier, 5 juni 1999

<sup>4</sup> Anno 2000 waren de kostprijzen van de goedkoopste en duurste AVI respectievelijk 165 en 265 gulden per ton. Sinds de verzelfstandiging of zelfs privatisering van de ondernemingen in combinatie met een toegenomen marktwerking worden de kostprijzen niet meer beschikbaar gesteld.

<sup>5</sup> FEM / De Week, 24 oktober 1998.

<sup>6</sup> Het is nooit duidelijk geworden of hier bruto elektrisch, netto elektrisch of WKK-rendement werd bedoeld.

zullen leveren<sup>7</sup>. Dit moet er tevens toe leiden dat in 2006 geen brandbaar restafval meer hoeft te worden gestort.

Door terugdringing van het storten van brandbaar afval (met daarin ook organisch materiaal) zal ook de uitstoot van methaan (ook een broeikasgas) verminderen. Het risico van verdringing van hergebruik of nuttige toepassing door goedkopere en minder doelmatige alternatieven wordt ondervangen doordat de sectorplannen uit het LAP als leidraad voor vergunningverlening fungeren. Afvalstromen waarvoor geen verwijderingscapaciteit is vastgesteld kunnen in beginsel vrij worden verwerkt, mits die verwerking aan de minimumstandaard voldoet. De planning van capaciteit heeft daarmee plaats gemaakt voor een verdeling op basis van kwaliteit van de reststromen.

### Productie van afval in Nederland

In tabel 1.1 is een overzicht gegeven van de omvang van de verschillende stromen.

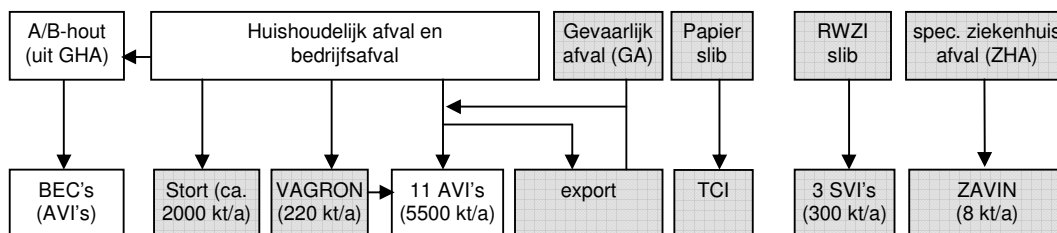
Tabel 1.1 Productie en verwerking van afval in Nederland anno 2007 (CBS, 2009)

herkomst:	productie [mln ton]	Nuttige toepassing	
		Mln ton	%
Bouwnijverheid	23,1	22,8	99
Industrie	16,9	15,5	92
Huishoudens	9,3	4,9	53
Handel, diensten en overheid	5,0	2,1	42
Landbouw	2,2	2,2	100
Energieopwekking	1,5	1,4	93
Rioolwaterzuivering	1,5	0,5	33
verkeer en vervoer	0,7	0,4	57
Drinkwaterproductie	0,2	0,2	100
<b>Totaal:</b>	<b>60,4</b>	<b>50,9</b>	<b>84</b>

Exclusief verontreinigde grond, baggerspecie, radioactief afval en dierlijke mest, wordt jaarlijks ongeveer 60 miljoen ton afval geproduceerd. Daarvan wordt 84 procent hergebruikt of nuttig toegepast. Het resterende deel, ongeveer 11 miljoen ton, wordt verbrand of gestort.

### Infrastructuur voor de eindverwerking van (brandbaar) afval in Nederland

In figuur 1.2 is de huidige structuur voor de eindverwerking van brandbaar afval weergegeven. De (nuttige) toepassing van bijvoorbeeld hout afkomstig uit bouw en sloopafval in bijvoorbeeld kolencentrales (secundaire brandstof) is hierin niet opgenomen.



Figuur 1.2 installaties voor eindverwerking van brandbaar afval in NL (2<sup>e</sup> inkadering)

Bij de VAGRON wordt het huishoudelijk afval eerst gescheiden, waarna de biomassafractie wordt vergist. De droge fracties worden voor hergebruik afgezet of alsnog in een AVI verwerkt. Met het geproduceerde biogas worden voldoende elektriciteit en warmte geproduceerd om in de eigen energiebehoefte te voorzien. Het overschot aan opgewekt elektrisch vermogen wordt aan het net geleverd.

De thermische eindverwerking van gevaarlijk afval (GA) vond tot eind 2004 plaats in de draaitrommel ovens (DTO's) van AVR-Chemie. Sinds de sluiting daarvan wordt gevaarlijk afval

<sup>7</sup> Hiermee wordt bedoeld op wervelbedverbranding en wervelbedvergassing. Installaties waarvan het energetisch rendement hoger zou zijn van een roosteroven installatie.

in de bestaande AVI's meegestookt of geëxporteerd. Specifiek ziekenhuis afval (ZA), een bijzondere categorie gevaarlijk afval, wordt bij de ziekenhuis afvalverbrandingsinstallatie (ZAVIN) in Dordrecht verwerkt.

De thermische conversie installatie (TCI) van AVR in Duiven verwerkt paperslib tot een cement vervangend product. Slib van rioolwaterzuiveringsinstallaties wordt in daarvoor bestemde slibverbrandingsinstallaties verwerkt.

De biomassa-energiecentrales (BEC's) zijn uitsluitend voor de opwekking van elektriciteit uit biomassa opgericht. Omdat deze biomassa energie centrales (BEC's) afvalhout verwerken worden ze bij vergunningverlening als AVI beschouwd.

## 1.2 Duurzame energiebeleid in Nederland

De **Eerste Energienota** van het ministerie van Economische Zaken (EZ) was ingegeven door twee belangrijke gebeurtenissen (Ministerie van Economische zaken, 1974). Het rapport van de club van Rome schetste een scenario van uitputting van de voorraden fossiele brandstoffen. Daarnaast werd door de oliecrisis duidelijk dat met de afhankelijkheid van olie exporterende landen, een betrouwbare energievoorziening ook een internationale politieke dimensie kent. Het beleid was daarom vooral gericht op energiebesparing en een meer selectief gebruik van aardgas. Voor de opwekking van elektriciteit moesten bij voorkeur kolen worden ingezet, zodat een strategische gas- en olievoorraad achter de hand kon worden gehouden.

Omdat de vraag naar olie het aanbod overtrof, werd in de **Tweede Energienota** ingezet op energiebesparing en diversificatie van de brandstofmix. Ten opzichte van 1977 moet in het jaar 2000 een besparing worden bereikt (Ministerie van EZ, 1979). Naast de inzet van kolen moest ook kernsplitsing belangrijker worden in plaats van de kostbare olie en aardgas.

Als op de klimaatconferentie van Rio de Janeiro in 1992 ook de gevolgen van de uitstoot van broeikasgassen op de internationale politieke agenda wordt gezet, wordt de besparingstrategie uit de jaren zeventig aangevuld met beleid gericht op vermindering van die uitstoot (Ministerie van VROM, 1992). In de **Derde Energienota** wordt daarom ingezet op ontwikkeling van een (meer) duurzame energiehuishouding (Ministerie van EZ, 1995). Daaronder wordt verstaan een efficiënte, schone en veilige opwekking van energie die gebaseerd is op de inzet van hernieuwbare bronnen. Doelstellingen zijn een efficiencyverbetering van 33% ten opzichte van 1995 en een aandeel van 10% duurzaam opgewekte energie in 2020.

In de Derde Energienota wordt niet expliciet gedefinieerd welke energiebronnen wel of niet duurzaam zijn. In de verschillende voortgangsrapportages inzake het duurzame energiebeleid wordt alle energie uit afval als duurzaam meegeteld, dus ook het deel afkomstig van de kunststoffractie in het afval (ECN, 1999; Wijdeven Suttmüller & Partners, 2000). In de Derde Energienota wordt over de inzet van afval en biomassa gezegd:

*“...Marktconforme benutting van het binnenlands potentieel aan biomassa geniet daarbij de voorrang. Het aanbod daarvan is groter te maken door aanpassing van het afvalstoffenbeleid en door gebruik van biomassa voor de opwekking van elektriciteit als een goede vorm van hergebruik aan te merken. ....In de elektriciteitsproductie wordt voor biomassa gedacht aan bijstook in bestaande kolencentrales, al dan niet na vergassing van de biomassa. Samen met grootschalige afvalverbranding leent deze techniek zich voor brandstofspreiding. ...”*

Het ministerie van Economische Zaken (EZ) stelt voor het binnenlands aanbod van biomassa groter te maken door aanpassing van het afvalstoffenbeleid. Dat is het territorium van het ministerie van VROM. Kennelijk ziet het ministerie van EZ bij de benutting van (biomassa houdende) reststromen een belangrijke rol weggelegd voor de AVI's en elektriciteitscentrales. Wat betreft het stimuleren van de marktpenetratie voor de productie van duurzame energie, waaronder de terugwinning van energie uit afval, wordt ingegaan op de in 1996 in te voeren regulerende energiebelasting (REB)(hoofdstuk 5).

## 1.3 Stimuleringsregelingen voor productie van (meer) duurzame energie

De EU-richtlijn inzake de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen (Richtlijn 2001/77/EG van 27 september 2001) stelt dat:

*“... verbranding van niet-gescheiden stedelijk afval in toekomstige steunregelingen voor hernieuwbare energiebronnen niet worden bevorderd indien de hiërarchie door die bevordering zou worden ontredderd.”*

Van afval wordt slechts de biologisch afbreekbare fractie als biomassa c.q. hernieuwbaar aangemerkt. Subsidiereregelingen ter bevordering van de opwekking van elektriciteit uit afval zijn toegestaan, mits preventie, hergebruik of nuttige toepassing van afvalstoffen niet worden ontmoedigd.

Voor de AVI's toegepaste subsidieregelingen zijn de teruggave van de REB-gelden (hoofdstuk 5), de stimuleringsregeling ter bevordering van de milieukwaliteit van de elektriciteitsproductie (MEP-regeling)(hoofdstuk 6) en sinds kort ook de regeling inzake stimulering duurzame energie ofwel de SDE-regeling (hoofdstuk 7).

### **REB: teruggave regeling voor duurzaam opgewekte energie**

Om de doelen uit de derde energienota ook waar te maken, wordt in 1996 de regulerende energiebelasting (REB) ingevoerd. Deze REB-regeling, geregeld in artikel 36 van de Wet belastingen op milieugrondslag (Wbm) (wet van 23 december 1994), omvat behalve een heffing op elektriciteit, brandstoffen en grondwater ook een belasting op het storten van (brandbare) afvalstoffen.

Met deze fiscale maatregel beoogt de overheid op drie manieren in te grijpen:

1. Door het verschuiven van de belasting op arbeid naar de belasting op consumptie, moet het verschil tussen bruto en netto inkomen kleiner worden. De anno 1995 geschatte opbrengst van 1,9 miljard gulden zou worden aangewend voor lastenverlichting ter compensatie van de koopkracht. Dit is gunstig voor de werkgelegenheid, terwijl de koopkracht behouden blijft;
2. De negatieve externe effecten van het economisch handelen worden (gedeeltelijk) in de prijs verdisconteerd opdat voor de consument de werkelijke milieukosten van de niet duurzame alternatieven meer zichtbaar wordt;
3. Men verwacht van de prijsverhoging een remmend effect op de toenemende vraag naar energie en meer initiatieven voor het treffen van energiebesparende maatregelen “achter de meter”. Over zelf opgewekte energie met bijvoorbeeld een zonneboiler, zonnepanelen of eigen windmolen hoeft immers geen heffing te worden betaald. Hiermee werd invulling gegeven aan het voornemen tot vergroening van het fiscale stelsel. Uitgangspunt was dat zowel het milieu als de werkgelegenheid hiermee gediend zouden zijn. Waar in het beleid gericht op besparing de nadruk werd gelegd op beïnvloeding van de vraag naar primaire energiedragers, grijpt de overheid met de invoering van de regulerende energiebelasting en met de teruggave regeling als fiscaal instrument vooral in op de aanbodzijde van duurzaam opgewekte energie. Het doel is herstel van de marktwerking in de richting van een meer duurzame ontwikkeling.

Bij de invoering van de REB-regeling werd reeds rekening gehouden met de richtlijn van de Europese Commissie ter invoering van een energieheffing op Europese schaal, die voorzag in een vrijstelling voor duurzaam opgewekte energie. In artikel 36o van de Wbm (wet van 23 december 1994) wordt geregeld dat voor duurzaam opgewekte energie de verschuldigde belasting gedeeltelijk toekomt aan de producent van de duurzame energie. In de memorie van toelichting (Tweede Kamer, 1996) wordt over artikel 36o gezegd:

*“...De belasting die verschuldigd is voor de levering van elektriciteit wordt verminderd met het bedrag dat overeenkomt met de belasting ter zake van de levering van elektriciteit opgewekt door middel van windenergie, zonne-energie, kleinschalige waterkracht of installaties waarin biomassa zonder bijstook van kunststoffen wordt verstoekt. ...”*

Grootschalige waterkracht wordt buiten de regeling gehouden omdat realisatie daarvan gepaard gaat met aantasting van de natuur en landschap. Omdat HHA altijd kunststof bevat, vallen de AVI's ook buiten de regeling. De kolencentrales, die biomassa bij stoken, komen wel voor de subsidie in aanmerking.

### **Bijzondere teruggave regeling voor de AVI's**

Omdat de tussendoelstelling uit de Derde energienota (3% duurzaam opgewekt in het jaar 2000) niet haalbaar lijkt, wordt in het actieprogramma **Duurzame Energie In Opmars** (DEIO)

de doelstelling van 10% duurzaam in 2020 geoperationaliseerd (Ministerie van EZ, 1997). De strategie omvat in hoofdlijnen:

- Verbetering prijs - prestatieverhouding (technologie push);
- Aanpak bestuurlijke knelpunten (vergunningverlening, ruimtelijke inpassing);
- Stimuleren marktpenetratie (fiscale maatregelen).

Het verbeteren van de prijs / prestatie verhouding was relevant voor de ontwikkeling van goedkopere zonnecellen. De aanpak van bestuurlijke knelpunten was relevant voor het verder uitbouwen van het windmolenpark. Voor alle duurzame opties geldt dat de overheid de marktpenetratie met financiële instrumenten wil stimuleren. Met subsidies en fiscale regelingen moeten ook de niet rendabele alternatieven financieel haalbaar worden.

Om de doelstelling te halen zou, uitgaande van het verbruikssaldo van circa 3000 PJ (=  $3 \times 10^{18}$  Joule) anno 2000, in het jaar 2020 ten minste 300 pJ duurzaam moeten worden opgewekt. Daarvan zal naar verwachting 120 pJ afkomstig zijn van energiewinning uit biomassa en afval (ECN, 1999; Ministerie van EZ, 1997; Koppejan & De Boer-Meulman, 2005; NOVEM, jaartal onbekend)

In het actieprogramma DEIO werd voor de AVI's daarom een teruggave regeling in het kader van de regulerende energiebelasting aangekondigd. Ter invoering van die regeling werd medio 1997 de Wbm (wet van 23 december 1994) uitgebreid met artikel 36r, de bijzondere teruggave regeling voor de AVI's. Net als de producenten van duurzame energie, kunnen zij naar rato van de fractie biomassa in het verwerkte afval, in aanmerking komen voor teruggave op basis van de REB-regeling. In tegenstelling tot artikel 36o zal artikel 36r bij pas in werking treden, nadat met de sector afspraken zijn gemaakt over de voorwaarden. In ruil voor teruggave van de REB-gelden zal van de AVI's verbetering van het energierendement worden verlangd. De afspraken zullen worden vastgelegd in een convenant.

Medio 1999 wordt, na ruim anderhalf jaar onderhandelen, het convenant "Energie uit afval", hierna het REB-convenant, gesloten (Vereniging van Afval Verbranders (VVAV), 1999). Deze publiek/private overeenkomst naar burgerlijk recht wordt ondertekend door de Staat<sup>8</sup>, alle elf AVI's en NOVEM. Gedurende drie jaar komen de AVI's, net als de producenten van duurzame energie, in aanmerking voor terugsluizing van de door de consumenten afgedragen REB. Als tegenprestatie hebben de AVI's zich verplicht om binnen de looptijd van het convenant 23% meer energie uit afval te produceren. Na afloop van het convenant zal een vervolgregeling getroffen kunnen worden.

### **REB-regeling wordt MEP-regeling**

Na zeven jaar komt in 2003 de teruggave regeling op basis van de REB (Wbm art. 36o en 36r) te vervallen. Daarvoor in de plaats wordt op 1 juli 2003 de stimuleringsregeling ter verbetering van de milieukwaliteit van de elektriciteitsproductie (MEP) van kracht (Wet van 2 juli 2003). In tegenstelling tot de REB-regeling, die gericht was op bevordering van de vraag naar duurzaam opgewekte energie, is de MEP-regeling gericht op stimulering van de productie daarvan. Een tweede verschil is dat in de MEP-regeling de vergoeding losgekoppeld wordt van de heffing. De subsidiebedragen zullen worden vastgesteld op basis van de nader te bepalen onrendabele top<sup>9</sup> en zullen daarom per optie (wind, zon, et cetera) kunnen verschillen. In aanmerking komen elektriciteit uit biomassa, wind en zon, golf, getijde energie, waterkracht, afval maar ook warmtekrachtkoppeling (WKK) of klimaatneutraal opgewekte elektriciteit.

Voor de AVI's geldt de MEP-regeling in eerste instantie alleen voor installaties die na 1996 in bedrijf zijn genomen, en minimaal een netto energierendement van 26% hebben. Uitgezonderd de installaties van Afvalverwerking Zuid Nederland te Moerdijk (AZN) zijn alle bestaande AVI's voor 1997 in bedrijf genomen. De aanvraag om subsidie door AZN, die in 1998 in bedrijf werd genomen, is echter geweigerd omdat zij zelf geen elektriciteit opwekt maar alle stoom aan de nabij gelegen stoom en gasturbine eenheid (STEG) levert. Feitelijk werden de bestaande AVI's daarmee ook van de MEP-subsidie uitgesloten.

---

<sup>8</sup> Namens de Staat werd het convenant ondertekend door vertegenwoordigers van de ministeries van Economische Zaken (EZ), Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM) en Financiën (FIN),

<sup>9</sup> In het kader van de MEP-regeling werd de onrendabele top gedefinieerd als het verschil tussen kostprijs voor het opwekken van de energie en de marktprijs, uitgedrukt Euro(cent) per kWh.

Omdat het ministerie van EZ een (verdere) verbetering van het rendement van de bestaande AVI's van belang acht, wordt de regeling in 2005 zodanig gewijzigd dat ook de bestaande AVI's aanspraak op de subsidie kunnen maken. Voorwaarde is wel dat zij belangrijke wijzigingen doorvoeren in hun energieopwekking. Naar mate het energetisch rendement van de AVI hoger wordt, stijgt de vergoeding per geleverde kWh. Om aan de ondernemers zekerheid te bieden, geven eenmaal verstrekte beschikkingen recht op 10 jaar subsidie.

Na drie jaar wordt de MEP-regeling in augustus 2006 weer afgeschaft. Ze zou niet doelmatig zijn, en vanwege het open eind karakter te duur worden. De reeds verleende beschikkingen voor subsidie worden nog geëffectueerd.

#### **MEP-regeling wordt vervangen door de SDE-regeling**

Op 30 oktober oktober 2007 wordt de opvolger van de MEP-regeling, de Stimuleringsregeling Duurzame Energie (SDE), van kracht (Besluit van 16 oktober 2007). Doel van deze Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB) is om ondernemers te ondersteunen die energie produceren op een manier die het milieu nauwelijks belast en zonder geld van de overheid nog niet uit de kosten komen. Het kan daarbij gaan om projecten op het gebied van hernieuwbare elektriciteit, hernieuwbaar gas of warmtekrachtkoppeling (WKK).

Op 3 maart 2008 worden de contouren voor de SDE bekend gemaakt (Minister van EZ, 2008a; 2008b). Er zijn subsidiecategorieën, de zogenaamde productie categorieën, bepaald. Voor 2008 wordt de regeling voor de categorieën windmolens op land, zon, productie van biogas en kleinschalige biomassa met uitzondering van vloeibare biomassa opengesteld. De voor de SDE-regeling beschikbare middelen zullen oplopen van 10 miljoen euro in 2008 tot 336 miljoen euro voor het jaar 2015. Het totale budget over deze periode bedraagt bijna 1,4 miljard euro. Langjarige zekerheid voor de potentiële investeerders staat voorop.

De hoogte van de subsidiebedragen is afgeleid van de onrendabele top (OT), het door het Energiecentrum Nederland (ECN) vastgestelde verschil tussen de kostprijs van duurzaam opgewekte en fossiele energie. Voor warmtekrachtkoppeling (WKK) moet de onrendabele top nog worden vastgesteld. Voor categorieën biomassaverbranding waarvoor geen onrendabele top is geconstateerd, wordt het subsidiebedrag vooralsnog op nul gesteld.

Subsidiering binnen de SDE-regeling vindt plaats per geproduceerde kilowattuur of m<sup>3</sup> gas. De hoogte van de subsidie voor hernieuwbare energie wordt als volgt berekend:

1. Een productie-installatie krijgt een beschikking met daarop een basisbedrag. Dit bedrag blijft gedurende de gehele periode waarover subsidie wordt verstrekt ongewijzigd en vertegenwoordigt de totale kosten van de installatie per kWh;
2. De werkelijke inkomsten door de verkoop van elektriciteit of gas worden op dit basisbedrag in mindering gebracht.

Daarmee varieert de hoogte van de subsidie jaarlijks met de hoogte van de energieprijzen. Stijgt de energieprijzen, dan is minder subsidie nodig. Omgekeerd: daalt de energieprijzen, dan zal extra subsidie nodig zijn. Voor vaststelling van de subsidiabele categorieën zijn drie selectiecriteria gehanteerd, te weten: kosteneffectiviteit, toekomstperspectief en innovatie.

De SDE-regeling wordt gezien als opvolger van de MEP-regeling, maar anders dan bij de MEP-regeling zijn de subsidiebedragen gebaseerd op een inschatting van de ontwikkeling van de elektriciteit- en gasprijzen. Ze kunnen aan de hand van de feitelijke ontwikkeling daarvan worden bijgesteld. Daarnaast werkt de SDE-regeling, in tegenstelling tot de MEP-regeling, met subsidieplafonds. Voor de AVI's is in de komende 15 jaar maximaal 178 miljoen euro te verdelen. Nog niet bekend is hoe de regeling er voor de productie categorie 'Warmtekrachtkoppeling' uit komt te zien.

## **1.4 Bijdrage van de AVI's in de productie van duurzame energie**

Het huidige afvalstoffen beleid is nog steeds gericht op preventie: het ontstaan van afval moet zoveel mogelijk worden voorkomen<sup>10</sup> en voor zover toch afval ontstaat, wordt hergebruik van materialen nagestreefd. Het storten van brandbaar afval moet volledig worden uitgebannen,

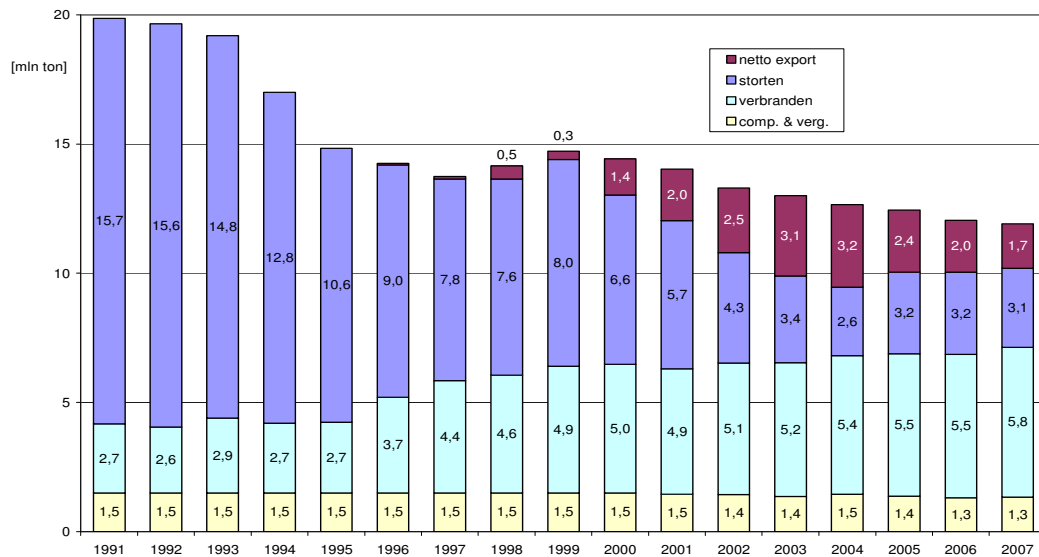
---

<sup>10</sup> Het gescheiden ingezameld grijs afval bestaat voor ongeveer 40% uit verpakkingsmateriaal. Dit is in het preventiebeleid dan ook de drijfveer achter de inzet van communicatieve instrumenten zoals de in 1991, 1997 en recent in 2002 met de verpakkingsindustrie gesloten convenanten.

niet meer herbruikbaar afval moet zodanig worden verwerkt dat de risico's voor het milieu "aanvaardbaar" zijn. Daarbij wordt de Ladder van Lansink als richtsnoer gehanteerd. Volgens het ministerie van VROM moet daar wel pragmatisch mee worden omgegaan; het kan vanuit milieuhygiënisch oogpunt soms beter zijn reststromen integraal te verbranden dan te trachten om ze tot in het oneindige voor hergebruik te scheiden.

### Eindverwerking van brandbaar afval in Nederland

Na preventie en hergebruik blijft jaarlijks bijna 12 miljoen ton brandbaar restafval over. Daarvan wordt circa 1,3 miljoen ton vergist of gecomposteerd. De rest wordt verbrand gestort of voor nuttige toepassing geëxporteerd. Figuur 1.3 geeft de eindverwerking van brandbaar restafval in Nederland weer.



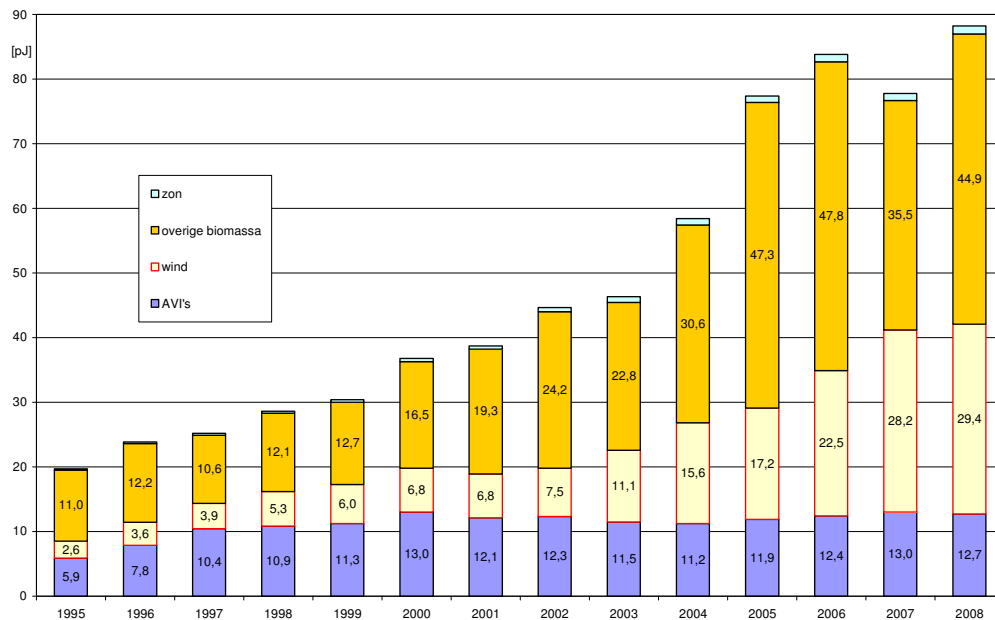
Figuur 1.3 Eindverwerking van brandbaar afval in Nederland (SenterNovem, 2008)

Vanaf de invoering van het stortverbod in 1998 ontstaat export van brandbaar restafval om in het buitenland nuttig te worden toegepast. Met de jaarlijkse verhoging van de belasting op het storten van brandbaar afval neemt de uitgevoerde hoeveelheid verder toe. Als medio 2005 ook in Duitsland een stortverbod wordt ingevoerd neemt de export weer af. In 2007 bedroeg de totale hoeveelheid verbrand, gestort en geëxporteerd afval bijna 10 miljoen ton. Daarvan wordt circa 5,8 miljoen ton in de 11 AVI's verbrand.

### Bijdrage van de AVI's in de productie van duurzame energie

Door de overheid wordt energie uit afval, naar rato van het aandeel biomassa in de calorische waarde, als duurzaam beschouwd. Figuur 1.4 toont de bijdrage van de AVI's aan de productie van duurzame energie in Nederland, uitgedrukt in vermeden fossiel. De door de overheid gebruikte methode voor het vaststellen van deze bijdrage komt aan de orde in hoofdstuk 4.





Figuur 1.4 Bijdrage van de AVI's aan de totale productie van duurzame energie in Nederland (Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS, 2009)

Vanaf 1997, het jaar dat de installaties van Afvalverwerking Zuid-Nederland (AZN) in Moerdijk en Twence in Hengelo in bedrijf werden genomen, is de absolute bijdrage van de AVI's vrijwel stabiel gebleven. Door de ontwikkeling van met name windenergie en het meestoken van biomassa in kolencentrales is de relatieve bijdrage van de AVI's sterk afgenomen. In 1995 was de bijdrage van de AVI's aan de totale productie van duurzame energie nog 34%, anno 2008 is dat afgenomen tot 11 procent.

## **2 Probleemstelling, vraagstelling en methode van onderzoek**

### **2.1 Probleemstelling**

De overheid streeft naar een structuur waarin uiteindelijk zo min mogelijk afval moet worden verbrand of gestort. Sinds op 1 juli 2005 ook in Duitsland een stortverbod geldt, is de export drastisch afgenomen en zijn alle AVI's volledig bezet. Sindsdien is nog verbrandingscapaciteit bijgebouwd maar de bestaande ovens worden zoveel mogelijk benut.

De doelstelling van het REB-convenant was om, uitgedrukt in termen van vermeden fossiel, 23% meer energie uit het afval te leveren (convenant "Energie uit Afval", 1999). Dat lijkt te zijn gehaald. Niet duidelijk is in hoeverre de regeling, het convenant in het bijzonder, ook doelmatig is geweest in het streven naar een meer duurzame energiehuishouding. De eindevaluatie van het convenant geeft daarin geen inzicht (KEMA, 2002a).

Voor de MEP-regeling kwamen in ieder geval de nieuw gebouwde installaties in aanmerking. Niet bekend is in hoeverre de regeling van werkelijk invloed is geweest op ontwerpkeuzes met betrekking tot de terugwinning of levering van energie door die nieuwe installaties.

Gelet op de relatief grote bijdrage aan de productie van hernieuwbare energie én hun nog beperkt energetisch rendement blijven de AVI's, de bestaande installaties in het bijzonder, een belangrijke doelgroep in het duurzame energiebeleid. De overheid vindt een verdere verbetering van de energieprestaties van de AVI's, de bestaande installaties in het bijzonder, dan ook belangrijk (Minister van Economische Zaken, 2008a). Een nieuwe financiële maatregel moet echter wel kosteneffectief zijn. De sector, vertegenwoordigd door de vereniging van afvalbedrijven (VA), is bereid te investeren in verdere verbetering van het energierendement maar verlangt vooraf wel zekerheid over de hoogte en vooral de duur van een eventuele steunmaatregel (VA, 2007). Ook de AVI's zullen daarom in aanmerking kunnen komen voor de in het voorjaar van 2008 in werking getreden SDE-regeling.

#### **Belang van onderzoek**

Naar de inzet van het convenant of meerjaren afspraken als instrument is vooral vanuit een sociaal wetenschappelijke invalshoek veel empirisch onderzoek gedaan. Dergelijk onderzoek naar de effectiviteit of doelmatigheid van convenanten was vooral gericht op het identificeren van kritische succesfactoren met betrekking tot het convenantproces en de vorm c.q. inhoud van de overeenkomsten. Zelden werden convenanten geëvalueerd door middel van een kwantitatieve analyse van objectief meetbare resultaten in relatie tot de vooraf gestelde doelen.

In de in opdracht van het ministerie van VROM uitgevoerde evaluatie van milieuconvenanten komt het convenant "Energie uit afval" summier aan de orde (De Bruin, Bressers, Lulofs & Van der Veer, 2004; Bressers, De Bruin & Lulofs, 2004). Dat geldt ook voor de in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken uitgevoerde evaluatie van de meerjarenafspraken (MJA2) inzake energie efficiency (Bressers, De Bruin & Dinica, 2004).

Naar de toepassing van subsidies als beleidsinstrument is vooral vanuit economisch perspectief wetenschappelijk onderzoek gedaan (De Groot, Mulder & Van Soest, 2001). Het onderzoek van De Beer et al. (2002) naar de effectiviteit van energiesubsidies in de periode 1988 – 1999 beperkt zich wat betreft de REB-regeling voor duurzame energie tot art. 36o van de Wbm. De regeling voor de AVI's, i.c. artikel 36r van de Wbm, viel buiten het bereik van dit onderzoek. De evaluatie van de MEP-subsidie door de Algemene Rekenkamer beperkte zich tot de kosteneffectiviteit en kostenbeheersbaarheid van de regeling voor de overheid (Algemene Rekenkamer, 2007a). Voor zover bekend is geen (verklarend) onderzoek verricht naar de effecten het REB-convenant of de MEP-regeling in het algemeen of voor de AVI's in het bijzonder.

Voor de overheid is het van belang inzicht te krijgen in de vraag hoe het energierendement van de AVI's (verder) kan worden verbeterd. Daarvoor is niet alleen een objectief inzicht vereist in de huidige prestaties in relatie tot de technisch mogelijkheden, maar ten minste ook een kwalitatief inzicht in de bedrijfseconomische factoren.

Voor de overheid, de sector en vanuit beleidswetenschappelijk oogpunt is het verder van belang dat meer inzicht wordt verkregen in de effectiviteit van het overheidsbeleid inzake het energierendement van de AVI's tot nu toe. Dit voor zowel de uitvoering van de nieuwe regeling als voor toekomstig (ander) beleid.

### **Doel van dit onderzoek**

Het doel van dit onderzoek is om, gelet op de technische, juridische en bedrijfseconomische aspecten van de energiewinning uit afval, te komen tot een voorschrijvend concept voor vervolgbeleid. Dit opdat het technisch haalbare potentieel van zowel bestaande als nieuwe AVI's verder wordt benut.

In veel evaluaties van overheidsbeleid ontbreekt het aan een kwantitatieve analyse van objectief meetbare resultaten in relatie tot de gestelde beleidsdoelen. Dit onderzoek beoogt die lacune voor de REB-regeling en de MEP-regeling voor de AVI's op te vullen..

## **2.2 Vraagstelling**

In dit onderzoek staan een evaluatie van de REB-regeling c.q. het convenant "Energie uit afval" en de MEP-regeling voor de AVI's centraal. Als basis voor de twee evaluaties ex post fungeert een kwantitatieve analyse van de ontwikkeling van de energieprestaties gedurende de looptijd van de regelingen. De beschrijving en analyse van de uitvoering van beide regelingen alsmede de daaraan voorafgaande beleidsprocessen is geen doel op zich, maar dient als bron voor het verklaren van de uitkomsten van het kwantitatieve deel van het evaluatieonderzoek.

Door een beschrijving van het beleidsproces, het convenantproces en een evaluatie van de bijzondere teruggave regeling voor de AVI's als beleidsinstrument, kan zichtbaar worden hoe de belangen van de betrokken actoren zich tot elkaar verhouden en wat de interne en externe knelpunten zijn in het streven naar verdere benutting van de potentiële bijdrage van de AVI's.

De centrale onderzoeksvraag luidt: **Hoe kan het energierendement van AVI's (verder) kan worden verbeterd?**

Deze vraag kan worden uitgesplitst in twee subvragen:

- A. Hoe werd de energie-efficiency van de AVI's in Nederland tot op heden door overheidsbeleid bevorderd?**
- B. Wat kunnen uitgangspunten of randvoorwaarden voor eventueel vervolgbeleid zijn?**

Vanuit subvraag A zijn de deelvragen van het onderzoek daarmee:

- 1. Wat zijn kenmerken van de terugwinning en levering van energie door een AVI? (hoofdstuk 3)**
- 2. Wat is een geëigend toetsingscriterium voor beoordeling van energie efficiency van een AVI? (hoofdstuk 4)**
- 3. Wat heeft de REB-regeling voor de AVI's, het convenant "Energie uit afval" in het bijzonder, bijgedragen aan het verbeteren van de onder vraag 2 genoemde criteria? (hoofdstuk 5)**
- 4. Wat heeft de MEP-regeling (2003-2006) voor de AVI's bijgedragen aan het verbeteren van de onder vraag 1 genoemde criteria? (hoofdstuk 6)**

Vanuit subvraag B zijn de deelvragen van het onderzoek daarmee:

- 5. Wat kan, gelet op technische en bedrijfseconomische factoren, de vigerende IPPC-richtlijn bijdragen aan de verbetering van de onder 2 genoemde efficiency? (hoofdstuk 7)**
- 6. Wat kan de SDE bijdragen aan het verbeteren van de onder 2 genoemde efficiency? (hoofdstuk 7)**

## 2.3 Methode van onderzoek

In dit onderzoek staat een analyse en evaluatie van de REB-regeling i.c. het convenant "Energie uit afval" alsmede de MEP-regeling voor de AVI's centraal om antwoord te kunnen geven op de deelvragen. De huidige SDE-regeling wordt ex ante geëvalueerd. Als basis voor de twee ex post evaluaties fungeert een kwantitatieve analyse van de ontwikkeling van de energieprestaties van de installaties. Middels deze ex post evaluatie van de REB-regeling (onderzoeksvraag 2) en de MEP-regeling (onderzoeksvraag 3) voor de AVI's, kan tevens het te ontwikkelen beoordelingscriterium (onderzoeksvraag 1) op praktische bruikbaarheid worden getoetst.

### *Onderzoeksvraag 1*

Door het proces van terugwinning van energie uit afval te beschrijven worden de kenmerken ervan besproken. De daarvoor benodigde informatie is verkregen door ervaring van de onderzoeker in de afvalverbranding. Tevens wordt in gegaan op de voor beleidsdoeleinden toegepaste criteria ter beoordeling van de energieprestaties van de AVI's. De daarvoor benodigde gegevens worden verkregen uit publicaties en beleidsdocumenten van overheidsinstellingen.

### *Onderzoeksvraag 2*

Om de subsidieregelingen voor de AVI's op kosteneffectiviteit en doelmatigheid te kunnen beoordelen is een kwantitatief inzicht in het presteren van de bestaande installaties alsmede het verbeterpotentieel noodzakelijk. Op basis van een beschrijving van de productie van energie uit afval wordt een indicator voor beoordeling van de energieprestaties van de AVI's gedefinieerd. Eisen zijn daarbij:

- a) De indicator geeft inzicht in de werkelijke prestaties van de AVI als zodanig, ook indien sprake is warmte- en krachtkoppeling;
- b) De indicator kan rekening houden met de kwaliteit van geleverde energie;
- c) De indicator is voor iedere installatie toepasbaar;
- d) Met de indicator kunnen alle installaties zowel onderling als met een benchmark worden vergeleken.

### *Onderzoeksvraag 3 en 4*

Voor het antwoord op deelvraag 3 en 4 zullen de benodigde gegevens uit officiële (publieke) bronnen zoals statusrapportages en milieujaarverslagen (overheidsversie) worden verkregen. Eventueel worden gegevens bij de bedrijven zelf opgevraagd. De relevante gegevens worden op basis van het model uit deelvraag 1 getoetst om de bijdrage van de REB-regeling aan verbetering van de energie-efficiency te kunnen beoordelen. Voor de installaties die wel voor de MEP-regeling in aanmerking kwamen maar nog niet in bedrijf zijn zullen gegevens uit de vergunningaanvraag of milieueffectenrapport worden gebruikt.

De informatie nodig voor beschrijving van het beleid- en convenantproces is verkregen door het bestuderen van bronnenmateriaal (nota's, verslagen). Wat betreft de onderhandelingen over het REB-convenant zijn de direct bij de onderhandelingen betrokken personen op basis van een aantal open vragen geïnterviewd (bijlage 1). Omdat de onderhandelingen over het af te sluiten REB-convenant al in 1999 waren afgerond, zijn de interviews reeds in de beginfase van het onderzoek (augustus 2000) uitgevoerd. Om zoveel mogelijk informatie te verkrijgen zijn de gesprekken opgenomen en achteraf schriftelijk uitgewerkt.

### *Onderzoeksvraag 5*

Op basis van het onder 1 gedefinieerde beoordelingsmodel worden achtereenvolgens het technisch haalbare, het bedrijfseconomisch haalbare en het juridisch vereiste rendement bepaald. Het technisch haalbare potentieel wordt verkend op basis ervaringen c.q. ontwikkelingen uit de praktijk en publicaties daarover. Ten behoeve van het bedrijfseconomisch haalbare potentieel wordt een (kwantitatief) kostprijsmodel uitgewerkt. In beide gevallen zullen de gegevens worden verkregen uit publicaties, haalbaarheidsonderzoeken en praktijkervaringen. Het juridische vereiste rendement wordt door het beschrijven van de relevante wet en regelgeving, de IPPC-richtlijn (Richtlijn van 24 september 1996) in het bijzonder. Bronnen zijn overheidspublicaties en relevante uitspraken van de Raad van State.

### *Onderzoeksvraag 6*

Ter beantwoording van deelvraag 6 wordt de SDE-regeling middels het beoordelingsmodel, beschreven in vraag 1 met bevindingen van deelvraag 2, 3 en 4.

## 2.4 Afbakening van het onderzoek

### *Focus op Afvalverbranding*

Dit onderzoek beperkt zich tot de terugwinning van energie bij afvalverbranding. Verondersteld wordt dat ook na optimalisering van de bestaande verwijderingstructuur van afval in Nederland altijd een reststroom overblijft die een AVI verwerkt zal moeten worden. Het beleid gericht op de planning van capaciteit voor verbranden of storten van afval, of de resultaten van het inzetten van reststromen in bijvoorbeeld energiecentrales vallen daarom buiten dit onderzoek.

### *Focus m.b.t. de beschouwde installaties*

De installaties voor de verbranding van specifiek ziekenhuisafval en gevaarlijk afval<sup>11</sup> verwerken materiaal dat buiten iedere regeling voor duurzame energie valt. Bij de VAGRON wordt het afval na voorscheiding vergist. Met het daarbij vrijkomende biogas opgewekte elektrisch vermogen wordt als duurzaam aangemerkt. Dat geldt ook voor de installaties voor de verbranding van slib afkomstig van rioolwaterzuiveringinstallaties. De installaties van de ZAVIN, VAGRON en de slibverbranders vallen daarmee buiten het bereik van dit onderzoek.

Dit onderzoek beperkt zich wat betreft de evaluatie van het REB-regeling tot de 11 AVI's zoals die ten tijde van het afsluiten van het convenant (medio 1999) operationeel waren. Wat betreft de MEP-regeling beperkt het onderzoek zich tot de AVI's. De drie biomassa energiecentrales (BEC's) die met het oog op de MEP-subsidie zijn gebouwd komen in bijlage 13 aan de orde.

### *Focus m.b.t. de terugwinning van energie door de AVI's*

Overige (milieu)aspecten verbonden aan het verbranden van afval, zoals de samenstelling van het verwerkte afval of bij de verbranding vrijkomende emissies, vallen buiten de scope van dit onderzoek.

Over het al dan niet duurzaam zijn van energie uit afval bestaan verschillende opvattingen. Discussie daarvoor is in dit onderzoek geen doel op zich. Een bespreking daarover van normatieve aard, komt slechts aan de orde indien beantwoording van bovengenoemde onderzoeksvragen daartoe aanleiding geeft.

### *Focus m.b.t. de evaluatie van de REB-regeling*

De analyse en evaluatie van de REB-regeling i.c. het convenant "Energie uit afval" is gericht op de 11 deelnemende AVI's zoals die ten tijde van het REB-convenant in werking waren (KEMA, 2002a). Ofwel, alle installaties voor thermische verwerking van niet gevaarlijk huishoudelijk of daarop gelijkend bedrijfsafval in Nederland. De installaties voor bijvoorbeeld de verbranding van zuiveringslib, gevaarlijk afval of specifiek ziekenhuisafval vallen buiten het bereik van dit onderzoek.

### *Focus m.b.t. evaluatie van de MEP-regeling*

De evaluatie van de MEP-regeling beperkt zich tot de AVI's die na 1998 in bedrijf zijn genomen en ook voor die regeling in aanmerking kwamen. Dat zijn in ieder geval de drie biomassa energiecentrales, installaties die uitsluitend naar aard zuivere biomassa zoals afvalhout verwerken. Voor zover nog geen praktijkgegevens bekend zijn is de kwantitatieve analyse op ontwerpgegevens gebaseerd.

### *Beschouwde periode*

Het medio 1999 in werking getreden REB-convenant had een looptijd van 3 jaar. De verbetering van de energieprestaties werd afgemeten aan de resultaten over 1997, het jaar waarin de twee nieuwste AVI's in bedrijf waren genomen. De evaluatie van het REB convenant beperkt zich tot de 11 AVI's zoals die gedurende de looptijd van het convenant "Energie uit afval" in bedrijf waren. De kwantitatieve analyse van de energieprestaties van de AVI's is gebaseerd op de ontwikkeling van de prestaties tussen 1997 en 2005.

Bij de MEP-regeling bestaat tussen de installaties verschil in de periode waarover subsidie wordt verstrekt. De beschouwde periode omvat tenminste de periode waarover MEP-subsidie

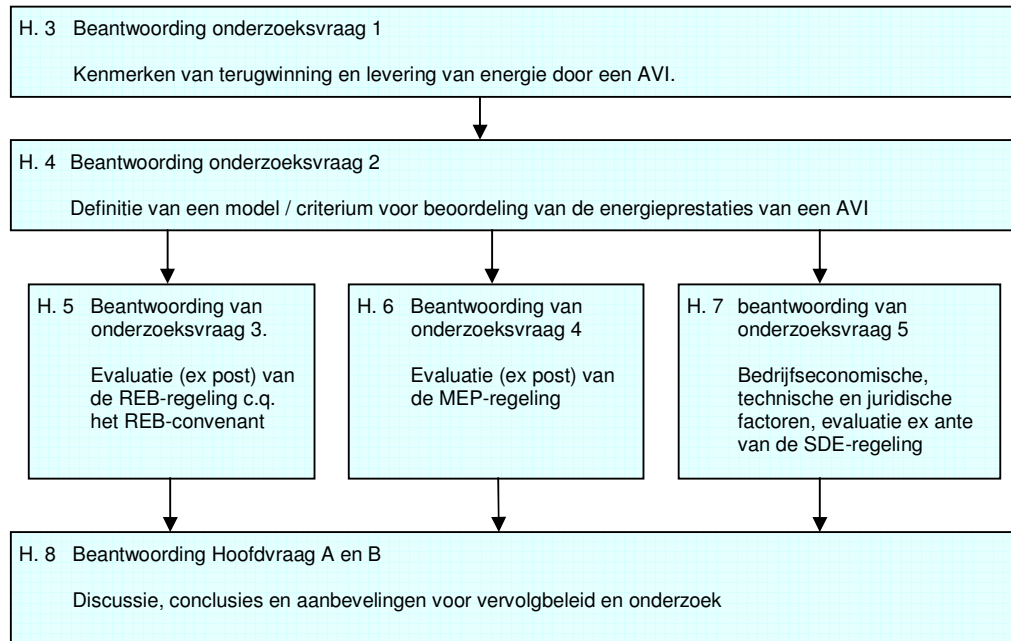
---

<sup>11</sup> De twee draaitrommel ovens van AVR voor de verwerking van gevaarlijk afval (GA) zijn in 2003 en 2004 om reden van een structureel afgenomen aanvoer oplopende verwerkingskosten definitief buiten bedrijf gesteld. Omdat de twee AVI's die ook gevaarlijk afval verbranden slechts een deel van het aanbod kunnen of mogen, wordt het grootste deel van het GA sindsdien geëxporteerd.

is of nog wordt ontvangen. Indien geen representatieve bedrijfsgegevens beschikbaar zijn, worden ontwerpgegevens uit bijvoorbeeld het milieueffectrapport of de vergunningaanvraag gebruikt.

## 2.5 Opbouw en indeling van het rapport

In figuur 2.1 is de structuur van het rapport in relatie tot de opbouw van dit onderzoek weergegeven.



*Figuur 2.1 Opbouw van het rapport in relatie tot de structuur van het onderzoek*

De volgorde van de hoofdstukken 5, 6 en 7 reflecteren de chronologische samenhang tussen de inhoud van die hoofdstukken.



### 3 Energiewinning uit afval

#### 3.1 Inleiding

Het doel van dit onderzoek is om het overheidsbeleid rond de terugwinning van energie uit afval te evalueren. Voor een kwantitatieve beoordeling van de energieprestaties van de AVI's of vaststelling van hun technisch en economisch verbeterpotentieel is een objectieve prestatie-indicator vereist. Dat wil zeggen een indicator die voor iedere installatie toepasbaar is en die afhankelijk is van omgevingsfactoren.

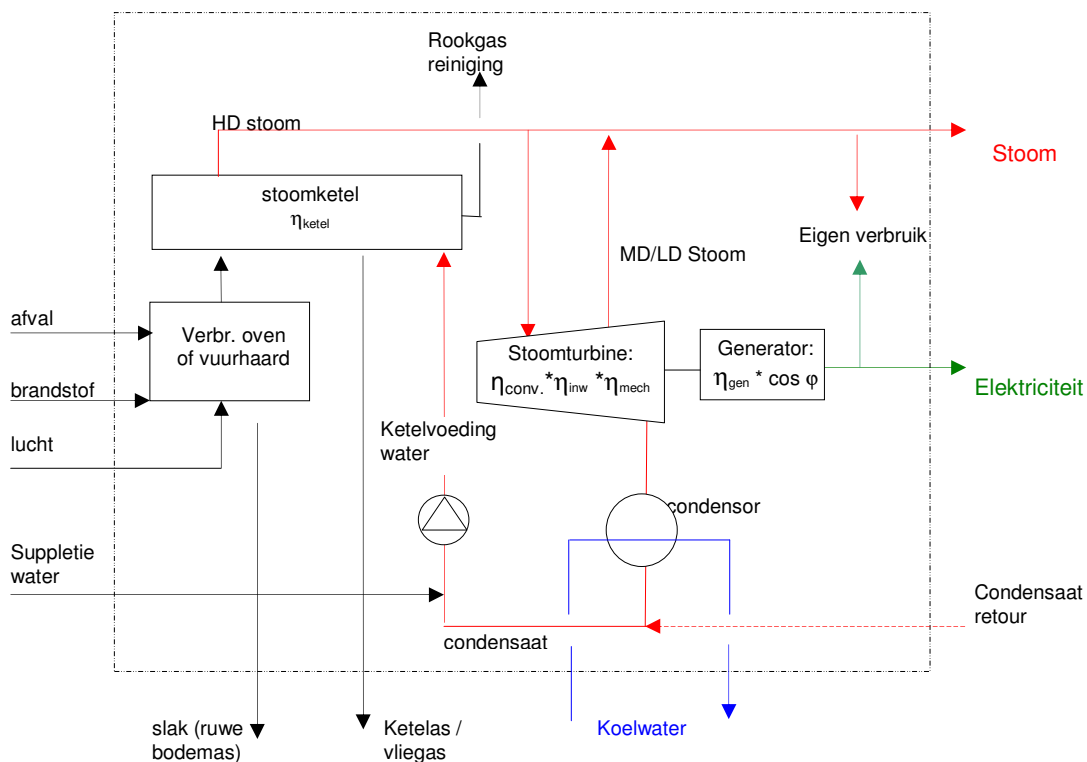
Het doel van dit hoofdstuk is inzicht te krijgen in de kenmerken van terugwinning en levering van energie door de AVI's, alsmede de daarbij relevante technische en bedrijfseconomische factoren (beantwoording onderzoeksvraag 1). Dit opdat bestaande criteria voor beoordeling van de energieprestaties van een AVI op bruikbaarheid in dit onderzoek kunnen worden beoordeeld.

In paragraaf 3.2. worden eerst de stoomwater kringloop, de mogelijke varianten voor levering van energie en beperkingen bij het ontwerp beschreven. In paragraaf 3.3 worden de tot nu toe voor beleidsdoelen toegepaste criteria ter beoordeling van de energieprestaties beschreven.

#### 3.2 Opwekking en levering van energie

##### 3.2.1 De stoom- en waterkringloop; uitvoeringsvarianten

In figuur 3.1 is de terugwinning en levering van energie door een AVI schematisch weergegeven.



Figuur 3.1 Stoom- en waterkringloop van een AVI

De vrijkomende verbrandingswarmte wordt benut voor de productie van oververhitte stoom of heet water. In geval van een heetwaterketel wordt de terug gewonnen thermische energie direct aan derden geleverd. In geval van een stoomketel, kan de teruggewonnen energie

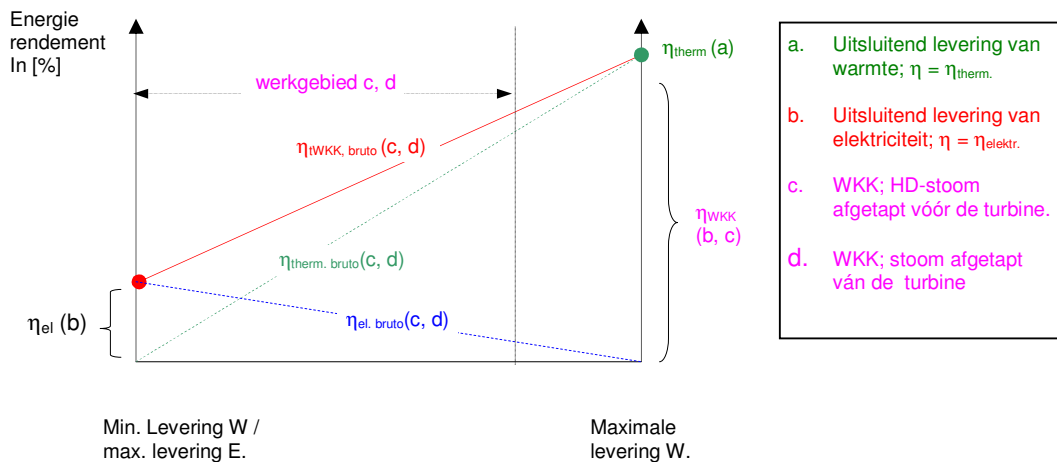


middels een turbine met generator ook worden omgezet in achtereenvolgens mechanische en elektrische energie. Voor eigen verbruik kan hoge druk stoom vóór of midden druk stoom van de turbine worden afgetapt. Het opgewekt elektrisch vermogen wordt na aftrek van eigen verbruik aan het publieke net geleverd.

Een AVI kan dus elektriciteit, warmte of een combinatie van beide energievormen leveren. De mogelijke uitvoeringsvarianten voor opwekking en levering van energie zijn:

- Alleen levering van warmte: hierbij wordt alle stoom na aftrek van eigen gebruik, direct aan derden geleverd, benodigde elektrisch vermogen wordt ingekocht. Directe levering van alle geproduceerde stoom is daarom alleen mogelijk als de vraag naar stoom ten minste gelijk is aan de productie, en leveringszekerheid van de AVI niet kritisch is voor de afnemer.
- Alleen levering van elektriciteit: indien levering van warmte technisch of economisch niet haalbaar is, wordt alle hoge druk stoom in een turbine afgewerkt, waarna ze tegen koelwater condenseert. Voor eigen gebruik wordt een deel van de stoom vóór of ván de turbine afgetapt. Het opgewekt elektrisch vermogen wordt na aftrek van eigen verbruik aan het net geleverd.
- WKK middels levering hoge druk stoom: te leveren hoge druk stoom wordt vóór de turbine afgetapt. De minimaal vereiste doorstroming door de turbine beperkt het werkgebied van de warmtelevering.
- WKK middels levering aftapstoom: bij een sterk wisselend of seizoensafhankelijke vraag naar warmte, kan een deel van de expanderende stoom van de condenserende turbine worden afgetapt.

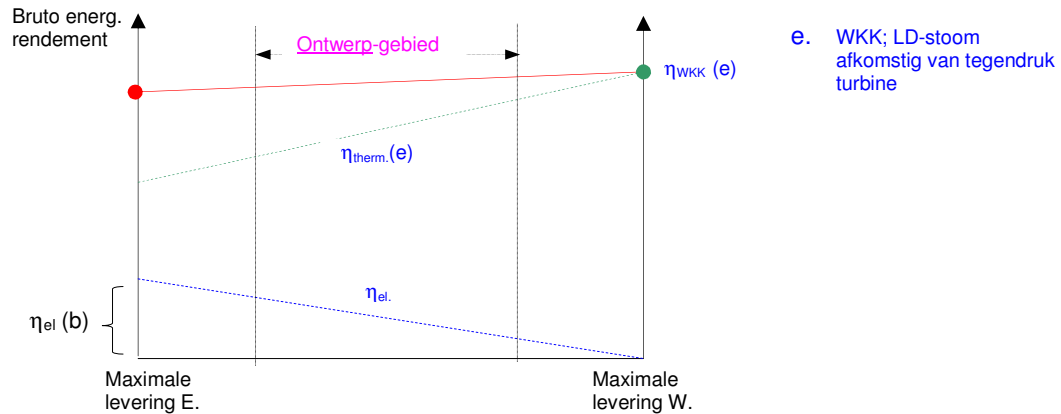
In figuur 3.2 zijn voor de uitvoeringsvarianten a t/m d, de (bruto) rendementen in relatie tot de verdeling tussen levering van warmte en elektriciteit weergegeven:



Figuur 3.2 Uitvoeringsvarianten voor opwekking en levering van energie

Indien de AVI alleen elektriciteit levert (variant b), dan is het bruto rendement gelijk aan het bruto elektrisch rendement van de installatie. Indien de AVI alleen warmte levert (variant a), dan is het rendement gelijk aan het (bruto) thermisch rendement. Bij warmtekrachtkoppeling (c en d) ligt het totale rendement, afhankelijk van de levering van warmte, tussen deze twee extremen.

- WKK middels levering stoom van een tegendrukturbine: Anders dan bij de condensatiemachine wordt de stoom in de turbine slechts gedeeltelijk geëxpandeerd. De uittredende midden- of lage druk stoom wordt aan bijvoorbeeld de procesindustrie of stadsverwarming geleverd. In figuur 3.3 is dit schematisch weergegeven.



Figuur 3.3 Warmtekrachtkoppeling middels een tegendrukturbine

Het in vergelijking met de condenserende turbine lagere elektrisch rendement wordt gecompenseerd doordat alle condensatiewarmte van de stoom wordt benut. Het totale rendement benadert daardoor het (bruto)thermisch rendement en is vrijwel onafhankelijk van de gekozen tegendruk van de turbine. Omdat de stoom altijd enige expansie moet ondergaan is het ontwerpgebied tweezijdig beperkt. In tegenstelling tot de andere configuraties (figuur 3.2) is hier daarom sprake van een ontwerp- in plaats van werkgebied. Voor een bestaande installatie ligt de verhouding tussen het elektrisch en thermisch rendement vast. Het nadeel van deze opstelling is dan ook dat bij (gedeeltelijk) wegvallen van de vraag naar warmte, stilstand van de AVI alleen kan worden vermeden door het overschot aan lage druk stoom in een nood- of dumpcondensor tegen koelwater weg te condenseren. Deze configuratie is daarom alleen geschikt bij een constante vraag naar warmte.

Uit figuur 3.2 en 3.3 blijkt dat het WKK-rendement niet alleen afhankelijk is van het rendement indien uitsluitend elektriciteit (variant a) of uitsluitend thermisch vermogen wordt geleverd (variant b), maar vooral van de vraag of en hoeveel warmte kan worden geleverd.

*Opmerking:*

*In het streven naar een (meer) duurzame energiehuishouding is bij de productie van energie alleen het netto rendement van belang. In het diagram kunnen het netto thermisch, elektrisch en WKK rendement worden gepresenteerd door het eigen verbruik aan elektriciteit als (negatief) rendement weer te geven. Zo kan voor elke installatie een WKK-diagram worden gemaakt, ongeacht de configuratie van de stoom- en waterkringloop of de wijze waarop de energie wordt geleverd.*

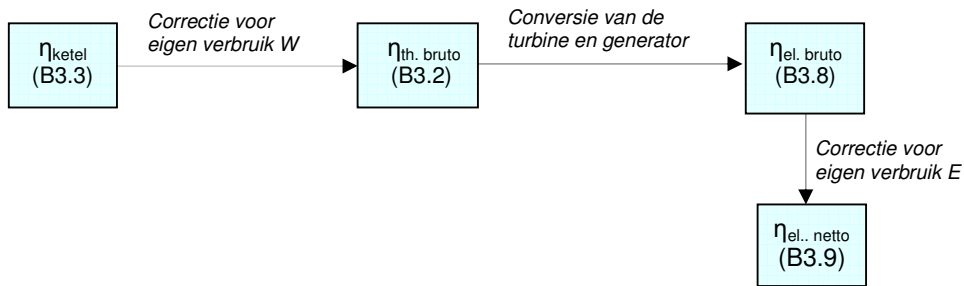
*Bij import of levering van warmte op verschillende temperatuurniveaus, kan iedere energiestroom als een aparte lijn worden weergegeven. Indien alleen warmte wordt geleverd, dan is het netto elektrisch rendement gelijk aan het ingekochte vermogen, ofwel negatief.*

### 3.2.2 Ontwerp van de stoom- en waterkringloop

Zoals figuur 3.1 laat zien zijn het thermisch en het elektrisch rendement afhankelijk van de efficiency van de verschillende installatiedelen. Zie bijlage 3 voor een kwantitatieve uitwerking van het elektrische en het thermisch (ontwerp)rendement.

#### levering van elektriciteit

De vergelijkingen in bijlage 3 gelden voor een installatie met eenvoudige turbine. De praktijk kan echter complexer zijn. Het schema in figuur 3.4 geeft weer hoe het ketelrendement, het (bruto) thermisch rendement en het (bruto en netto) elektrisch rendement in het kader van dit onderzoek worden gedefinieerd dan wel moeten worden geïnterpreteerd.



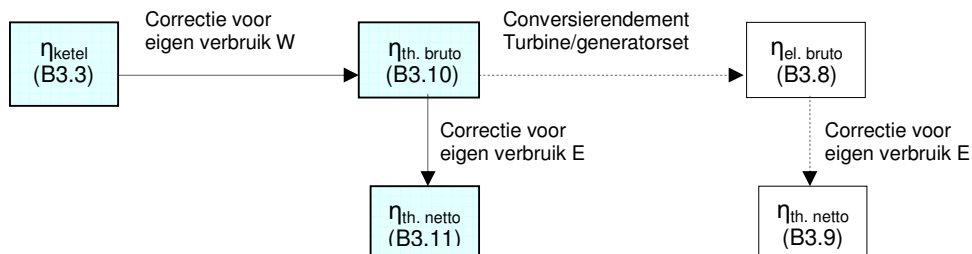
Figuur 3.4 Samenhang tussen de rendementen indien uitsluitend elektriciteit wordt geleverd.

Ten behoeve van dit onderzoek wordt het ketelrendement (bijlage 3) gedefinieerd als een maat voor terugwinning van de verbrandingswarmte. Het thermisch rendement wordt gedefinieerd als indicator voor de mate waarin de verbrandingswarmte werkelijk nuttig wordt toegepast, hetzij door directe levering aan derden dan wel door opwekking van elektriciteit.

Het bruto elektrisch rendement is vooral afhankelijk van het rendement van de ketel en de conversie in de turbine. Het inwendig rendement van de turbine geeft de stand der techniek weer wat betreft het ontwerpen. De temperatuur van de stoom in de uitlaat van de turbine is afhankelijk van de mogelijkheid tot gebruik van koelwater en temperatuur daarvan. Ten gunste van het (netto) elektrisch rendement wordt daarom naast een zo hoog mogelijk ketelrendement ook een zo hoog mogelijke temperatuur en druk van de stoom nagestreefd.

### Levering van warmte

Indien de AVI zelf geen elektriciteit opwekt (het eigen verbruik aan elektrisch vermogen wordt ingekocht), dan is het (ontwerp)rendement gelijk aan het (ontwerp) thermisch rendement. In figuur 3.5 is schematisch weergegeven hoe het bruto en netto thermisch rendement in het kader van dit onderzoek worden gedefinieerd dan wel moeten worden geïnterpreteerd.



Figuur 3.5 Samenhang tussen de rendementen indien uitsluitend warmte wordt geleverd.

Het bruto thermisch rendement wordt bepaald door het ketelrendement en het eigen verbruik aan warmte. Het netto thermisch rendement wordt ook door het eigen verbruik aan elektriciteit bepaald. Het eigen verbruik aan warmte en elektriciteit kan worden beperkt door optimalisatie van het detailontwerp. Ten gunste van het thermisch rendement wordt daarom een zo hoog mogelijk ketelrendement nagestreefd. De temperatuur en druk van de stoom of heetwater zijn nauwelijks van invloed op het bruto of netto rendement. Ten gunste van het totale of WKK-rendement is het van belang dat voor een nieuw te bouwen AVI in ieder geval een zodanige locatie wordt gekozen dat afzet van warmte kan worden gerealiseerd.

### 3.2.3 Optimaliseren van bestaande installaties

Voor bestaande installaties is verhogen van de stoomparameters alleen mogelijk door vervanging van de gehele stoom- en waterkringloop, inclusief ketel en turbine. Dergelijke investeringen (voor een AVI met twee ovens 100 miljoen euro of meer) zijn bij de huidige energieprijzen economisch niet rendabel. De afzet van warmte hangt sterk af van de aanwezigheid van potentiële afnemers en hun bestaande energievoorziening.

De mogelijkheden voor optimalisatie van het netto thermisch en netto elektrisch rendement zijn hier beperkt tot uitbreiding van de ketel of anderszins terugwinning van restwarmte, besparing op het eigen verbruik aan warmte of besparing op het eigen verbruik aan elektriciteit. Voor de bestaande installaties ligt verhogen van totale of WKK-rendement door (nieuwe) afzet van warmte daarom het meest voor de hand.

### 3.2.4 Energierendement van de AVI: praktijk versus ontwerp

In de praktijk zal het rendement altijd lager zijn dan het in paragraaf 3.2.1 beschreven en in bijlage 3 uitgewerkte ontwerprendement. Dit komt enerzijds door de wijze waarop deze rendementen worden vastgesteld, anderzijds door de bedrijfseconomische omstandigheden waaronder de AVI opereert.

#### a. Wijze waarop het (ontwerp)rendement is vastgesteld

De ontwerprendementen gelden bij normaal bedrijf. Dat wil zeggen, vollast van de ketel en turbine en geen lekverliezen of storingsen die nadelig zijn voor het energierendement. In de praktijk komt echter ook deellast van de ovens voor (de turbine is minder efficiënt), kan sprake zijn van (tijdelijke) verliezen als gevolg van bijvoorbeeld ketellekkage of is de stoom niet van voldoende kwaliteit om ook in de turbine te worden afgewerkt. Dit laatste is onder meer het geval bij op- en afstoken van een oven.

Indien nog geen rekening is gehouden met de verliezen als gevolg van bijvoorbeeld op- en afstoken, dan representeren de rendementen de meest gunstige bedrijfsomstandigheden en zal het werkelijk gerealiseerde rendement (iets) lager zijn.

#### b. Omstandigheden bij de bedrijfsvoering

Voor de AVI's bedragen de opbrengsten uit de levering van energie, afhankelijk van het (netto) rendement en de vergoeding voor het geleverd elektrisch en thermisch vermogen, ongeveer een kwart van het verwerkingstarief. Gegeven het overschot aan brandbaar afval worden alle installaties daarom zo veel mogelijk op thermische vollast bedreven, ook als dit nadelig is voor bijvoorbeeld het ketelrendement of de temperatuur van de geproduceerde stoom.

Bij vollast van het rooster komt verhogen van de doorzet tot uiting in een slechtere uitbrand van de slak. Bij thermische vollast van de ketel resulteert verhogen van de benuttingsgraad in een hogere temperatuur van het rookgas na de ketel (afname ketelrendement) óf een lagere temperatuur van de oververhitte stoom (lager conversierendement van de turbine).

Deze tegenstelling tussen het bedrijfseconomische en het milieubelang, komt ook tot uiting in de te rapporteren energieprestaties. Maximaliseren van de afvaldoorzet resulteert altijd in een hogere energieproductie c.q. bijdrage in termen van vermeden fossiel of CO<sub>2</sub>, maar kan bij thermische vollast van de ketel een lagere energie-efficiency tot gevolg hebben.

Er is daarom onderscheid te maken in:

- het ontwerprendement of het maximale rendement op enig moment;
- het naar verwachting te realiseren rendement en;
- het werkelijk gerealiseerde rendement.

Voor het werkelijke energierendement, hier het bedrijfsrendement genoemd, geldt:

$$\eta_{\text{energ.,netto}} = \frac{E_{\text{netto}} + W_{\text{netto}}}{Q_{\text{afval}} + Q_{\text{brandstof}}} = \eta_{\text{el.,netto}} + \eta_{\text{th.,netto}} \quad (3.1)$$

waarin:

$$\begin{aligned} E_{\text{netto}} &= \text{netto geleverd elektrisch vermogen in [GWh}_e\text{]} \\ W_{\text{netto}} &= \text{netto geleverd thermisch vermogen in [GWh}_{\text{th}}\text{]} \\ Q_{\text{afval}} &= \text{input aan afval (o.b.v. stookwaarde) in [GWh]} \\ Q_{\text{brandstof}} &= \text{toegevoerde ondersteuningsbrandstof [GWh]} \end{aligned}$$

Het bedrijfsrendement moet blijken uit het in de praktijk geleverd thermisch en elektrisch vermogen en kan daarom eerst na in bedrijf nemen van een installatie worden bepaald<sup>12</sup>.

### 3.3 Bestaande prestatie-indicatoren voor beleidsdoeleinden

Door de overheid gebruikte criteria ter beoordeling van de energieprestaties van de AVI's zijn:

- Het rendement op basis van energie (par. 3.3.1);
- Het rendement op basis van een kwaliteitsfactor voor geleverde warmte (par. 3.3.2);
- De bijdrage duurzaam in termen van vermeden fossiel of vermeden CO<sub>2</sub> (par. 3.3.3).

#### 3.3.1 Energierendement: efficiency van de energielevering

Het rendement volgens bijvoorbeeld vergelijking 3.1 (par. 3.2.3) ook wel het klassieke energierendement genoemd, kent twee bezwaren. Ten eerste wordt geen rekening gehouden met de omvang van eventuele warmtelevering. Zoals in paragraaf 3.2 bleek, is het rendement afhankelijk van de mogelijke afzet van warmte, omstandigheden waarop de AVI geen invloed heeft. Een tweede nadeel van dit zogenaamde "klassieke" rendement is dat geen rekening wordt gehouden met exergie (lees) kwaliteit van de eventueel geleverde warmte.

Conclusie: het klassieke energierendement is niet zonder meer maatgevend voor de *efficiency* noch voor de *doelmatigheid* van een installatie.

#### 3.3.2 Energierendement op basis van een kwaliteitsfactor voor geleverde warmte

Bij het rendement op basis van exergie wordt rekening gehouden met de kwaliteit van de geleverde energie, die van de thermische energie in het bijzonder. Voor het exergierendement van een AVI geldt:

$$\eta_{\text{exerg.netto}} = \frac{\sum Ex_{\text{netto geleverd}}}{\sum Ex_{\text{brandstof in}}} = \frac{[Ex_E + Ex_W + Ex_P]_{\text{geleverd}} - [Ex_E + Ex_W]_{\text{import}}}{Ex_{\text{afval}} + Ex_{\text{brandstof}}} \quad (3.2)$$

Waarin:

- $Ex_{\text{afval}}$  = Exergie van de afvalinput [GWh];
- $Ex_{\text{brandstof}}$  = Exergie van (fossiele) ondersteuningsbrandstof [GWh];
- $Ex_E$  = Exergie van geleverd elektrisch vermogen [GWh];
- $Ex_W$  = Exergie van geleverd thermisch vermogen [GWh];
- $Ex_P$  = Exergie van eventueel geproduceerde secundaire brandstoffen of andere nuttig toepasbare producten [GWh];

Volgens KEMA werd het begrip exergie door de sector echter als abstract ervaren, bovendien zou de methodiek voor het bepalen het rendement op basis van exergie van in- en uitgaande energiestromen slecht aansluiten op de praktijk (KEMA, 2001). Sinds de jaren negentig worden daarom rendementen gehanteerd, waarbij voor de geleverde warmte een kwaliteitsfactor (zie bijlage 5) wordt toegepast (NOVEM, 2001a). Voor deze rendementen geldt dan:

$$\eta_{\text{ex}} = \eta_{\text{el}} + \sum_i (\beta * \eta_{\text{th}})_i \quad (3.3)$$

Waarin:

- $\beta$  = kwaliteitsfactor voor warmtestroom  $i$ .

Toch kennen ook deze quasi exergie-rendementen een aantal bezwaren.

- Er wordt geen rekening gehouden met de omvang van eventuele warmtelevering. De AVI kan door levering van warmte een hoger exergierendement halen dan door het opwekken van elektriciteit. Het rendement zegt daarom niets over de prestatie van de AVI als zodanig;

<sup>12</sup> Binnen één inrichting (AVI) kan sprake zijn van verschillende ovens met ketel- en turbineconfiguraties, ieder met hun eigen ontwerp en de daarmee samenhangende energieprestaties. Het rendement van de AVI's zoals dat wordt gerapporteerd is daarmee vaak een gemiddelde van de binnen de inrichting aanwezige installaties.

- Een thermodynamische onderbouwing van de toegepaste factoren ontbreekt. Door de soms arbitraire keuze resulteert dit in een over- of onderschatting van de werkelijke exergie;
- Deze quasi exergie rendementen worden betrokken op de onderste verbrandingswaarde of stookwaarde van het afval. Al dan niet bewust wordt de exergie van het afval gelijk gesteld aan de stookwaarde. Een thermodynamische onderbouwing daarvoor ontbreekt.

**Conclusie:** bovenstaande rendementen op basis van een kwaliteitsfactor geven in tegenstelling tot het energierendement wel een kwalitatief inzicht in de ontwikkeling van de doelmatigheid van de energielevering, maar schieten te kort als het gaat om een objectieve kwantitatieve vergelijking van de installaties onderling. Het in hoofdstuk 4 te definiëren beoordelingscriterium zal daarom ook op basis van de exergie van de energiestromen worden uitgewerkt.

### 3.3.3 Vermeden fossiel en CO<sub>2</sub>: afval als (deels) hernieuwbare energiebron

De bijdrage aan het streven naar een duurzame energiehuishouding wordt uitgedrukt termen van vermeden fossiel en vermeden CO<sub>2</sub>. Voor de vaststellen daarvan worden diverse methoden en grondslagen gehanteerd. Voor de AVI's relevante methoden zijn die uit het convenant "Energie uit afval" en het Monitoring protocol Duurzame energie.

#### *Convenant "Energie uit afval" (1999 – 2002)*

In het convenant "Energie uit afval" werd de door de AVI's te leveren prestatie uitgedrukt in termen van vermeden fossiel. In de eindevaluatie van het convenant werd de prestatie ook uitgedrukt in termen van vermeden CO<sub>2</sub> (KEMA, 2002b). Zie ook bijlage 5.

Door de energielevering door de AVI's te betrekken op het rendement van referenties, geven de hoeveelheden vermeden fossiel en CO<sub>2</sub> een indicatie van de doelmatigheid van de levering van energie. Toch kennen ook bovenstaande berekeningsmethoden een aantal bezwaren:

- Er wordt geen rekening gehouden met het eventueel verbruik van fossiele ondersteuningsbrandstof;
- Door alle energie uit afval als duurzaam aan te merken, wordt geen rekening gehouden met de kunststoffractie in het afval. Verbranden van afval wordt zo vergeleken met het storten van afval zonder terugwinning van energie. Dit verhoudt zich niet met de doelstelling van het afvalstoffenbeleid om het storten van brandbaar afval volledig uit te bannen en klopt ook niet met de praktijk van methaan winning uit de conversie van organisch afval in afgewerkte storten;
- Als referentie wordt het rendement van een standaard kolencentrale genomen in plaats van het landelijk gemiddelde rendement voor de opwekking van elektriciteit. Dit resulteert niet alleen in een hogere uitkomst voor de bijdrage in termen van vermeden fossiel, maar suggereert ook dat afval even gemakkelijk in een kolencentrale zou kunnen worden verstoekt. Dit strookt niet met de doelstellingen van het afvalbeleid om in de AVI's alleen afval te verwerken dat niet (meer) op een andere wijze nuttig toepasbaar is.
- Met de hoeveelheid vermeden fossiel of CO<sub>2</sub> wordt geen inzicht gegeven in de werkelijke fossiele belasting of CO<sub>2</sub>-balans van de AVI. Immers de AVI verwerkt voor een belangrijk deel ook materiaal van fossiele oorsprong. Dat wordt hier buiten beschouwing gelaten;

**Conclusie:** de volgens het REB-convenant berekende hoeveelheid vermeden fossiel betrof feitelijk de hoeveelheid (elders) vermeden primaire brandstof, aangezien geen rekening werd gehouden met het aandeel kunststof in het afval. Verder werd niet gecorrigeerd voor eventueel eigen verbruik aan fossiele brandstof.

#### *Monitoring protocol Duurzame Energie (1999 – heden)*

Met de ontwikkeling van de bijdrage van duurzame bronnen aan de energievoorziening nam ook het belang van een eenduidige registratie toe. In opdracht van NOVEM, EnergieNed en het CBS, is in 1999 daarom het "Monitoring protocol Duurzame Energie" opgesteld (Ecofys, 1999). In het protocol<sup>13</sup> is voorgescreven hoe voor de verschillende vormen van duurzame energie, de bijdrage aan de totale productie in Nederland moet worden berekend. De laatste versie van het protocol dient als beleidsdocument voor het ministerie van Economische Zaken bij de uitvoering van haar (duurzame) energiebeleid (SenterNovem, 2006). Het CBS gebruikt de

<sup>13</sup> In 2004 verscheen een eerste update, in december 2006 de laatste update.

beschreven methodieken ter vaststelling van de bijdrage van de duurzame energiebronnen. Niet duidelijk is wat de juridische status van het document is.

Voor de AVI's wordt in het protocol onderscheid gemaakt tussen de hoeveelheid vermeden primaire energie (fossiele brandstof) en de hoeveelheid vermeden (niet-cyclische) CO<sub>2</sub>. Er wordt rekening gehouden met zowel het aandeel kunststof in het afval als het eigen verbruik aan fossiele brandstof. Daartoe wordt de AVI als het ware in twee parallele installaties opgeknipt. De ene verwerkt het aandeel biomassa, de andere het aandeel fossiel (Gerlach T., persoonlijke communicatie. 15 oktober 2008). Het eigen verbruik aan fossiele brandstof wordt eveneens naar rato van het aandeel biomassa over die twee "installaties" verdeeld. Voor de AVI's wordt alleen de energieproductie uit het biomassadeel in het afval meegenomen. Er wordt geen rekening gehouden met het feit dat de fossiele fractie van het afval in diezelfde installatie wordt verwerkt, dus met een lager rendement in energie wordt omgezet.

**Conclusie:** De volgens het protocol berekende bijdrage uitgedrukt in vermeden fossiel of CO<sub>2</sub> is altijd positief. Ook als het aandeel biomassa niet opweegt tegen het, ten opzichte van de referenties, lagere rendement. De uitkomst zegt daarmee niets over de werkelijke fossiele brandstof of CO<sub>2</sub> balans van het verbranden van afval in een AVI. Daartoe moet de elders vermeden inzet van primaire brandstof of elders vermeden CO<sub>2</sub> worden verminderd met respectievelijk de eigen inzet aan fossiele brandstof of eigen uitstoot aan fossiele CO<sub>2</sub>.

#### *Methodie bepaling vermeden fossiel & CO<sub>2</sub> in dit onderzoek*

In dit onderzoek naar terugwinning van energie uit afval wordt met de volgende aspecten rekening gehouden (zie Bijlage 9):

- Er wordt ten opzichte van een installatie die alleen kunststoffen verbrandt, in de meeste AVI's ook aardgas of huisbrandolie bij gestookt. De verbruikte hoeveelheden zijn bepaald op basis van gegevens uit onder meer milieujarverslagen;
- Het in de AVI verwerkte afval bevat behalve biomassa ook kunststoffen;
- Het rendement van verwerking in een AVI is lager dan het rendement van installaties die alleen kunststoffen verbranden of fossiele brandstof inzetten.

#### **Algemeen (reflectie)**

In geen van bovenstaande methoden wordt rekening gehouden met de energie die werd gebruikt in de levensfase van het materiaal voordat het als afval werd afgedankt, noch met de "life cycle inputs" van bijvoorbeeld de inzameling of het verbruik van hulpstoffen en vrijkomen van reststoffen bij de verbranding zelf. Verwacht kan worden dat dit de uitkomst van bovenstaande methoden teniet doet. Dit komt door de arbitraire keuze van de "baselines" waarmee afvalverbranding wordt vergeleken, namelijk het storten zonder terugwinning van energie.

Een oplossing daarvoor zou kunnen zijn om de verbranding van afval wat betreft de organische fractie te vergelijken met storten (terugwinning van methaan), met composteren (terugwinning nutriënten) of met vergisten (terugwinning methaan en nutriënten). Wat betreft de kunststoffractie zou afvalverbranding dan vergeleken kunnen worden met recycling van kunststof of inzet ervan als secundaire brandstof in bijvoorbeeld cementovens of kolencentrales (uitsparing fossiele brandstof). De berekening daarvan valt buiten de scope van dit onderzoek naar het effect van overheidsbeleid op het rendement van de AVI's.

### **3.4 Samenvatting en conclusies**

Een AVI kan elektriciteit, warmte of een combinatie van beide leveren. Ten behoeve van de terugwinning en levering van energie zijn vijf configuraties van de stoom- en waterkringloop mogelijk. Ten gunste van thermisch rendement wordt gestreefd naar een zo hoog mogelijk ketelrendement. Ten gunste van het elektrisch rendement ook naar zo hoog mogelijke druk en temperatuur van de geproduceerde stoom.

In de praktijk zal het rendement altijd (iets) lager zijn dan het rendement zoals dat uitgaande van vollast bij het ontwerp is vastgesteld. Daarom moet onderscheid worden gemaakt in:

- a. het ontwerpendement;
- b. het in de praktijk verwachte rendement;
- c. het werkelijk gerealiseerde rendement.

Tot op heden zijn door de overheid toegepaste prestatie indicatoren voor de AVI's:

- het (klassieke) energierendement ( $W$  is gelijk aan  $E$ );
- het rendement op basis van een kwaliteitsfactor voor de geleverde warmte;
- de bijdrage aan de productie van duurzame energie, uitgedrukt in vermeden fossiel of CO<sub>2</sub>.

Het rendement wordt niet alleen bepaald door het ontwerp en bedrijfsvoering van de AVI zelf, maar ook door de vraag of, en hoeveel warmte kan worden geleverd. Dat zijn omstandigheden waarop de AVI zelf geen invloed heeft. Het klassieke energierendement is daarom niet zonder meer maatgevend voor de efficiency van een installatie als zodanig. Bovendien kunnen tussen de installaties grote verschillen bestaan in temperatuur van de geleverde warmte.

Omdat het klassieke rendement geen rekening houdt met de kwaliteit van eventueel geleverde warmte, zegt de energie efficiency niet zonder meer ook iets over de doelmatigheid van de levering.

De rendementen op basis van een kwaliteitsfactor voor geleverd thermisch vermogen missen een fundamenteel thermodynamische onderbouwing. Dat geldt voor zowel de kwaliteitsfactoren als voor de exergie van het afval. Per (subsidie)regeling kan de kwaliteitsfactor voor geleverde warmte verschillen. Bestaande, voor beleiddoeleinden toegepaste criteria, schieten dan ook te kort voor beoordeling van de energieprestatie van de AVI's als zodanig.

Volgens het *Monitoring protocol duurzame energie* berekende hoeveelheden vermeden fossiel of CO<sub>2</sub> zeggen niets over de werkelijke bijdrage van een installatie aan een (meer) duurzame energiehuishouding. Daarvoor moet voor de vermeden fossiel of CO<sub>2</sub> een balans worden opgesteld, die rekening houdt met het aandeel fossiel in het afval respectievelijk de eigen uitstoot aan fossiele CO<sub>2</sub>. Ten slotte is de juridische status van het *Monitoring protocol duurzame energie* onduidelijk.

In het algemeen geldt voor de hier beschreven prestatie indicatoren dat geen rekening wordt gehouden met de zogenaamde "life cycle inputs". De uitkomst in termen van vermeden primair of vermeden fossiel heeft daarom alleen betekenis bij het vergelijken van alternatieven voor de terugwinning van energie uit afval of maatregelen ter verbetering daarvan. Dit omdat de "baseline" dan niet relevant is. De uitkomst van de methoden zegt niets over de werkelijke fossiele brandstof of CO<sub>2</sub>-balans van het verbranden van afval in een AVI.





## 4 Criterium ter beoordeling van de energieprestaties van een AVI

### 4.1 Inleiding

In hoofdstuk 3 zijn de uitvoeringsvormen voor de terugwinning en levering van energie door de AVI's alsmede bestaande criteria voor de beoordeling van hun energieprestaties beschreven. Vastgesteld is dat de bestaande criteria te kort schieten voor een objectieve beoordeling van de prestaties van de AVI's, ongeacht de vraag of zij warmte leveren.

In dit hoofdstuk worden nieuwe criteria voor beoordeling van de energieprestaties van de AVI's uitgewerkt (beantwoording onderzoeksvraag 2).

### 4.2 Rendement op basis van energie

#### 4.2.1 Definitie van de Combined heat & power ratio (CHPR) functies

In figuur 3.2 en 3.3, hierna het WKK-diagram genoemd, zijn het bruto thermisch, elektrisch en totale of WKK-rendement als functie van de warmtelevering weergegeven. De omvang van de warmtelevering (x-as) kan in absolute eenheden (MW-th, GJ-th of GWh-th) of in een relatieve grootte worden weergegeven. Ten behoeve van dit onderzoek wordt de relatieve grootte, hier de Combined Heat and Power Ratio (CHPR) genoemd, gedefinieerd als de verhouding tussen de werkelijk te leveren of geleverde warmte en de (in theorie) maximaal aan derden te leveren warmte.

Voor het netto rendement als functie van de CHPR geldt dan:

$$\eta_{WKK, netto}(CHPR) = \eta_{el, bruto}(CHPR) + \eta_{th, netto}(CHPR) - \eta_{el, e.v.}(CHPR) \quad (4.1)$$

Waarin:

$$CHPR = \frac{W_{netto(derden)}}{W_{netto(derden)} + W_{netto(turbine)}} \quad (4.2)$$

of,

$$CHPR = \frac{\eta_{th, bruto}}{\eta_{th, bruto}(CHPR = 1)} \quad (4.3)$$

Met:

$$0 \leq CHPR \leq 1 \quad (4.4)$$

In het algemeen geldt voor het totale rendement als functie van de CHPR:

$$\eta_{i,j}(CHPR) = \sum \eta_{i,j}(CHPR) \quad (4.5)$$

Waarin:

- $i$  = elektrisch, thermisch of WKK rendement (o.b.v. LHV of stookwaarde)
- $j$  = bruto, netto, eigen verbruik of import

Hoe de CHPR-functies er precies uitzien hangt af van het ontwerp van de installatie zelf en de wijze waarop eventueel (rest)warmte wordt geleverd. Omdat dit per installatie anders kan zijn, is 4.5 niet in één, voor alle installaties universeel geldende, vergelijking uit te werken. De WKK-functie c.q. het WKK-diagram moet daarom steeds per geval worden bepaald.

De algemene uitgangspunten voor vaststelling van het energierendement en het exergerendement in dit onderzoek zijn:

- De vaststelling van de rendementen beperkt zich tot de energiestromen. Er wordt geen rekening gehouden met de zogenaamde “life cycle inputs” zoals het verbruik aan hulp- en grondstoffen door de AVI zelf, maar ook niet met de life cycle outputs zoals uit teruggewonnen metalen;
- De systeemgrenzen worden strak om de AVI gelegd. Dat wil zeggen dat het eigen verbruik voor bijvoorbeeld de opwerking van ruwe slak of de energiewaarde van de teruggewonnen metalen buiten beschouwing wordt gelaten. De reden daarvoor is dat niet alle AVI's de ruwe slak binnen de eigen inrichting opwerken maar dit uitbesteden aan derden. Meetellen van de energie-input van die activiteit zou onderlinge vergelijking van de energieprestaties verstoren;
- Verbruikte hulp- en grondstoffen zoals actieve kool ten behoeve van de rookgasreiniging worden buiten beschouwing gelaten;
- De geleverde energie wordt betrokken op de stookwaarde of onderste verbrandingswaarde van de toegevoerde brandstof;
- De eventuele import van warmte of elektriciteit wordt niet bij de brandstofinput opgeteld maar met de geleverde energie verdisconteerd. Zo wordt voorkomen dat het rendement in geval van (administratieve) doorlevering van energie (positief) wordt vertekend.

#### 4.2.2 Installatie specifieke rendementen

Voor iedere installatie worden de WKK- of CHPR-functies ook gekenmerkt door de ligging van een viertal installatiespecifieke rendementen. Dit zijn:

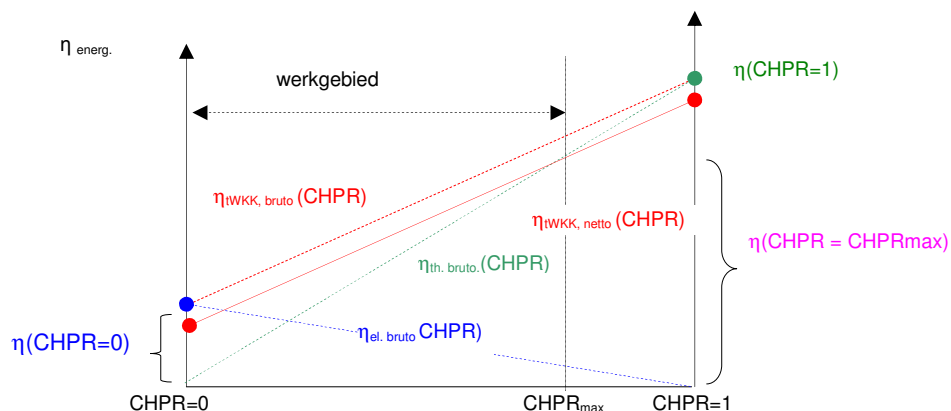
$\eta_{ij}(\text{CHPR}=0)$  Het rendement indien de theoretisch minimale hoeveelheid warmte wordt geleverd.

$\eta_{ij}(\text{CHPR}_{\min})$  Het rendement indien de technisch minimale hoeveelheid warmte wordt geleverd (meestal gelijk aan  $\eta$  bij  $\text{CHPR}=0$ ).

$\eta_{ij}(\text{CHPR}_{\max})$  het rendement indien de technisch maximale hoeveelheid warmte wordt geleverd.

$\eta_{ij}(\text{CHPR}=1)$  Het rendement indien theoretisch maximale hoeveelheid warmte wordt geleverd.

In figuur 4.1 zijn de CHPR-functies en de installatie specifieke rendementen in het WKK-diagram weergegeven.



Figuur 4.1 Installatiespecifieke rendementen in relatie tot de CHPR

De in figuur 4.1 weergegeven rendementen bij  $\text{CHPR}_{\min}$  en  $\text{CHPR}_{\max}$  representeren het werkgebied. Ze zijn het resultaat van ontwerpkeuzes, die in geval van warmtelevering mede afhankelijk van de mogelijkheid tot afzet van warmte. Het rendement bij minimale levering van warmte ( $\text{CHPR}=0$ ) respectievelijk maximale levering van warmte ( $\text{CHPR}=1$ ) is daarentegen wel het resultaat van door de AVI zelf gemaakte ontwerpkeuzes.

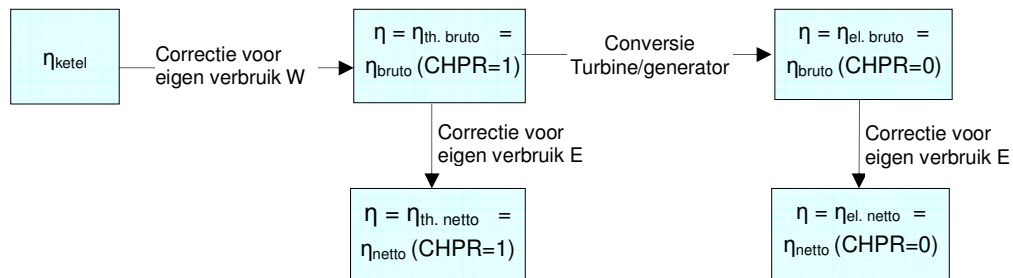
### 4.2.3 Intrinsiek elektrisch en thermisch rendement

Zoals figuur 4.1 laat zien, ligt het rendement altijd tussen dat bij levering van de theoretisch minimale hoeveelheid warmte (CHPR=0) en dat bij levering van de (theoretisch) maximale hoeveelheid warmte (CHPR=1). Anders gezegd: het rendement is positief gecorreleerd aan de CHPR, ongeacht het exacte verloop van de functie. Aangenomen dat de WKK-functie een (nagenoeg) rechte lijn beschrijft, dan worden de energieprestaties volledig door deze twee extremen gekenmerkt, ongeacht de omvang van de warmtelevering.

#### Definities

In dit onderzoek wordt het **installatie-eigen of intrinsiek thermisch rendement** gedefinieerd als het rendement dat geldt indien alle teruggewonnen warmte werkelijk aan derden zou zijn geleverd ofwel het rendement bij CHPR=1. Het **installatie-eigen of intrinsiek elektrisch rendement** wordt hier gedefinieerd als het rendement bij minimale levering van thermisch vermogen ofwel het rendement bij CHPR=0.

Figuur 4.2 geeft weer hoe  $\eta(\text{CHPR}=0)$  en  $\eta(\text{CHPR}=1)$  ten behoeve van dit onderzoek zijn gedefinieerd dan wel moeten worden geïnterpreteerd.



Figuur 4.2 Intrinsiek thermisch- en elektrisch rendement

**Conclusie:** ongeacht de configuratie van de stoom- en waterkringloop kunnen voor iedere installatie deze extremen c.q. de rendementen bij CHPR=0 en CHPR=1 worden vastgesteld.

### 4.3 Rendement op basis van exergie

In dit onderzoek wordt het netto exergierendement van de AVI gedefinieerd als:

$$\eta_{exerg.netto} = \frac{\sum [Q_i \cdot \beta_i]_{geleverd} - \sum [Q_i + \beta_i]_{import}}{Q_{afval} \cdot \beta_{afval} + Q_{fossiel} \cdot \beta_{fossiel}} \quad (4.6)$$

Waarin:

$Q_i$  = Energie inhoud van een energiestroom  $i$  [GWh, Joule];

$\beta_i$  = Kwaliteitsfactor voor de betreffende energiedrager (exergie / enthalpie).

$i$  = Energiestroom.

#### Opmerking

In tegenstelling tot het energierendement kan onderscheid worden gemaakt in een universeel en een functioneel exergierendement<sup>14</sup>. Het universeel rendement is de verhouding tussen de totale uitgaande en totale ingaande exergie, dus inclusief de niet nuttige stromen of verliezen. Het zegt iets over de interne exergie verliezen, ofwel de efficiency van het proces zelf. Het functionele rendement is de verhouding tussen de exergie van de nuttig toepasbare uitgaande stromen of producten en de exergie van de ingaande stromen. Het zegt behalve over verliezen in het proces zelf ook iets over externe verliezen ofwel de doelmatigheid van het proces. In dit rapport wordt steeds het functionele rendement bedoeld.

<sup>14</sup> <http://www-pe.wbmt.tudelft.nl/ev/cycle/ex03.html> gezien op 23 februari 2004.

### Exergie van elektrische energie

Omdat elektriciteit nog volledig in warmte of arbeid kan worden omgezet is elektriciteit de meest hoogwaardige energievorm. Alle elektrische energie is per definitie exergie ( $\beta = 1$ ).

### Exergie van de geleverde thermische energie

Voor de exergie van een thermische energiedrager (stoom of heet water) geldt:

$$\beta_i = 1 - \frac{T_0 * (S - S_0)}{(H - H_0)} < \eta_{carnot} \quad (4.7)$$

Waarin:

$$\eta_{carnot} = 1 - \frac{T_0}{T} \quad (4.8)$$

Zie bijlage 6 voor de afleiding.

### Fossiele brandstoffen

De exergie van fossiele brandstoffen wordt verondersteld gelijk te zijn aan de bovenste verbrandingswaarde of HHV ( $\beta_{HHV} = 1$ ). Zie bijlage 6.

### Afval

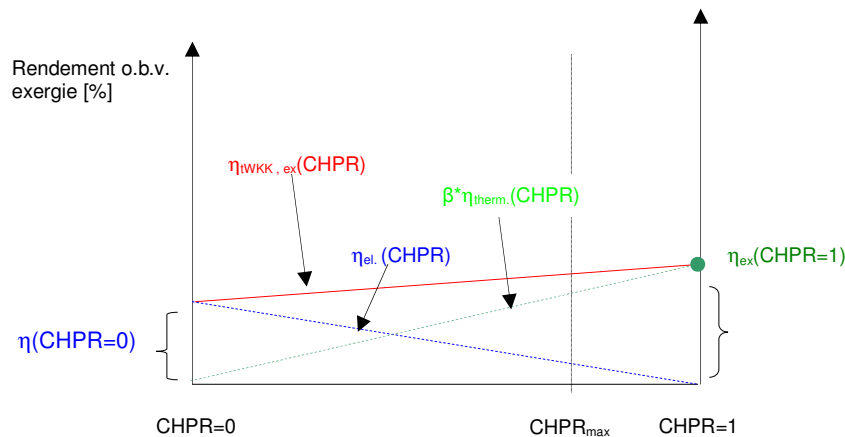
Voor de exergie van het afval wordt de onderste verbrandingswaarde (LHV) of stookwaarde aangenomen ( $\beta_{HHV} \approx 0,85$ ). Zie bijlage 7 voor de onderbouwing.

#### 4.3.1 Installatiespecifieke rendementen

Voor het totale exergierendement als functie van de CHPR geldt hier:

$$\eta_{ex.netto}(CHPR) = \eta_{el.netto}(CHPR) + \sum_i \beta_i * \eta_{therm.i}(CHPR) \quad (4.9)$$

In figuur 4.3 zijn de CHPR-functies schematisch in het WKK-diagram weergegeven.

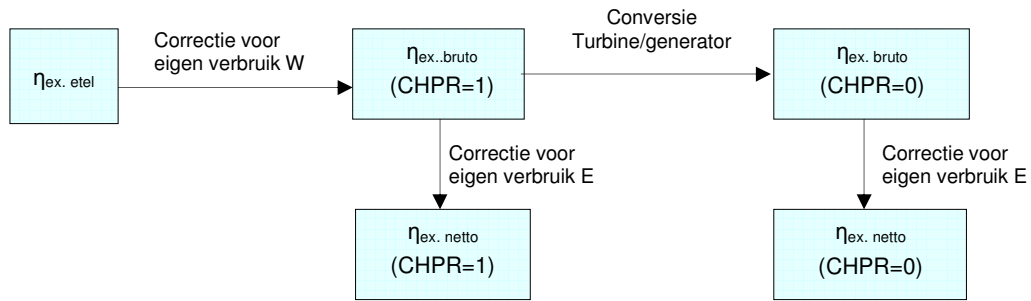


Figuur 4.3 CHPR-functies voor het (bruto)elektrisch, thermisch en WKK-rendement o.b.v. exergie

Indien uitsluitend elektriciteit wordt geleverd (CHPR=0) dan is het exergierendement gelijk aan het elektrisch rendement. Afhankelijk van de stoomparameters ligt het exergierendement voor CHPR=1, ergens tussen de energierendement bij CHPR= 0 en CHPR=1.

#### 4.3.2 Intrinsiek thermisch en elektrisch rendement

In figuur 4.4 is naar analogie van het energierendement, weergegeven hoe de installatie-eigen rendementen op basis van exergie zijn gedefinieerd.



Figuur 4.4 Intrinsic thermisch- en elektrisch rendement

Het intrinsiek exergie rendement van de AVI komt bij minimale warmtelevering (CHPR=0) overeen met het elektrisch rendement. Het intrinsiek exergie rendement bij maximale warmtelevering door de AVI (CHPR=1) ligt, afhankelijk van de kwaliteit van de in- en uitgaande energiestromen, ergens tussen het intrinsiek elektrisch en thermisch rendement op basis van energie.

#### 4.4 Criterium op basis van vermeden fossiel en CO<sub>2</sub>

Gegeven het nog bestaande overschot aan brandbaar afval zal nieuwe verbrandingscapaciteit worden bijgebouwd. In een daarvoor op te stellen milieueffectrapport (MER) is het gepast om een vergelijking met het nulalternatief (storten) te maken. Los van de discussie over de vraag of energie uit afval nu wel of niet duurzaam is dient in ieder geval onderscheid gemaakt te worden in elders vermeden primaire en fossiele brandstof respectievelijk CO<sub>2</sub> (Zie bijlage 9 voor de berekeningen).

##### Vermeden primaire brandstof of CO<sub>2</sub> (alle energie uit afval telt mee)

Bij bepaling van de elders vermeden fossiele brandstof telt alle (netto) door de AVI geleverde energie mee, dus ook het niet biogene deel van het afval. Omdat niet bekend is in hoeverre de brandstofmix van de referenties ook uit biomassa bestaat wordt de elders vermeden fossiel hier verder aangeduid als vermeden primaire brandstof. Er wordt wel gecorrigeerd voor het eigen verbruik aan (fossiele) ondersteuningsbrandstof door de AVI's.

##### Vermeden fossiele brandstof of CO<sub>2</sub> (correctie voor aandeel fossiel in het afval)

In tegenstelling tot het *Monitoring protocol duurzame energie* wordt de installatie hier niet in tweeën geknipt, maar als één geheel beschouwd. Er wordt behalve voor de eigen inzet aan (fossiele) ondersteuningsbrandstof nu ook gecorrigeerd voor de kunststoffractie in het afval.

##### Opmerking.

*De bijdrage in termen van (elders) vermeden fossiel, hier vermeden primaire energie genoemd, is altijd positief. De hoeveelheden vermeden "fossiel" en "CO<sub>2</sub>" worden pas positief indien het aandeel biomassa opweegt tegen het, ten opzichte van de referentie, lagere rendement en het eigen verbruik aan (fossiele) brandstof.*

##### 4.4.1 Installatie-eigen kentallen

Analoog aan het energie- en exergierendement zijn de installatie specifieke bijdragen:

- $Q_y$  (CHPR=0) De hoeveelheid vermeden primair, fossiel of CO<sub>2</sub> indien de theoretisch minimale hoeveelheid warmte wordt geleverd ofwel het rendement indien uitsluitend elektriciteit wordt geleverd;
- $Q_y$  (CHPR<sub>min</sub>) De hoeveelheid vermeden primair, fossiel of CO<sub>2</sub> indien de technisch minimale hoeveelheid warmte wordt geleverd (meestal gelijk aan  $\eta$  bij CHPR=0);
- $Q_y$  (CHPR<sub>max</sub>) De hoeveelheid vermeden primair, fossiel of CO<sub>2</sub> indien de technisch maximale hoeveelheid warmte wordt geleverd;

$Q_y$  (CHPR=1) De hoeveelheid vermeden primair, fossiel of indien theoretisch maximale hoeveelheid warmte wordt geleverd.

Met:

$y$  = Primair [pJ], fossiel [pJ] of CO2 [ton]

Bij transport of aflevering van elektriciteit en warmte treedt altijd verlies van energie op. Bij transport en overdracht c.q. levering van warmte treedt, behalve bovenop het verlies van energie ook altijd verlies van exergie op. Bij zowel het rendement op basis van energie als exergie is daarom onderscheid te maken in:

- Het (energie en exergie) rendement op basis van de uitgaande stromen bij de AVI;
- Het (energie en exergie) rendement op basis ingaande stromen bij de gebruiker;
- Het (energie en exergie) rendement op basis van ingaande stromen bij de gebruiker indien deze best beschikbare techniek of stand der techniek toepast of zou toepassen.

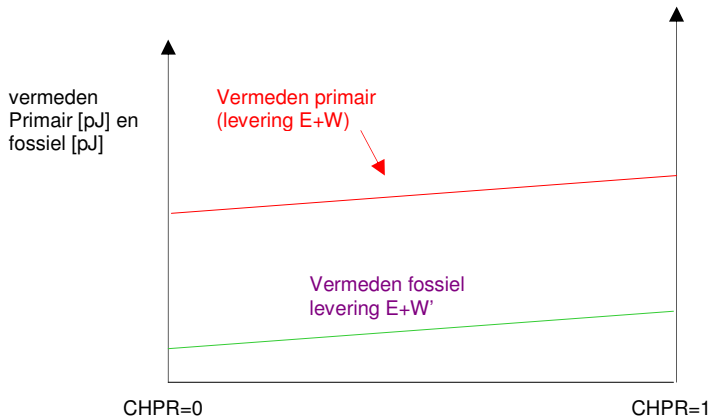
In dit onderzoek staat de verbetering van de efficiency van de AVI's zelf centraal. De analyse beperkt zich hier daarom tot de rendementen op basis van de uitgaande stromen bij de AVI.

#### Opmerking

Anders dan bij de rendementen is de bijdrage ook afhankelijk van de kentallen voor de referenties. Voor levering aan stadsverwarming is dat aardgas, voor levering van warmte aan procesindustrie kan dat bijvoorbeeld ook stookolie of huisbrandolie zijn. De keuze van de referenties moet daarom steeds per geval worden bepaald.

#### 4.4.2 WKK-diagram: CHPR-functies

Net als bij het energie- en exergierendement, kunnen ook de vermeden primaire en fossiele brandstof of CO2 als functie van de CHPR in een WKK/diagram worden weergegeven.



Figuur 4.5 Vermeden primair en fossiel als functie van de CHPR

Ook nu liggen de grootheden tussen de twee extremen: de bijdrage indien minimaal warmte wordt geleverd en (CHPR=0) en de bijdrage indien de (theoretisch) maximale hoeveelheid warmte wordt geleverd (CHPR=1). Een verschil met het diagram op basis van rendementen is wel dat dit diagram slechts geldig is voor een specifieke installatie, het daarin verwerkte afval en de met de warmtelevering verdrongen stookinstallatie.

#### 4.5 Samenvatting

Ten behoeve van de evaluatie van het REB-convenant en de MEP-regeling alsmede de SDE regeling is daarom een voor alle AVI's toepasbaar beoordelingscriterium gedefinieerd op basis van energierendement (efficiency) en exergierendement (doelmatigheid), waarbij de omvang of kwaliteit van eventueel geleverde warmte geen rol meer spelen.

Om de beoordeling onafhankelijk te maken van de omvang van eventuele warmtelevering worden alle prestatie indicatoren uitgedrukt als functie van de hier gedefinieerde Combined heat- and Power ratio, afgekort tot CHPR. Voor alle indicatoren geldt dat de CHPR-functies

voor energierendement, exergierendement, vermeden fossiel en vermeden CO2 in een WKK-diagram zijn weer te geven.

Iedere installatie kan worden beoordeeld middels vijf installatie specifieke rendementen op basis van zowel energie als exergie:

- *Het ketelrendement (eventueel bij  $CHPR=0$  en  $CHPR=1$ )*<sup>15</sup>
- *Het intrinsiek bruto thermisch rendement ( $CHPR=1$ );*
- *Het intrinsiek netto thermisch rendement ( $CHPR=1$ );*
- *Het intrinsiek bruto elektrisch rendement ( $CHPR=0$ );*
- *Het intrinsiek netto elektrisch rendement ( $CHPR=0$ );*

De rendementen kunnen worden bepaald op basis van energie (of enthalpie) en exergie. Ter vaststelling van het exergierendement is de exergie van het afval als brandstof afgeleid.

Net als voor de rendementen, kunnen ook de bijdrage in termen van vermeden primaire / fossiele brandstof en CO2 in het WKK-diagram worden uitgezet.

Bij de vaststelling van het intrinsiek netto elektrisch en thermisch rendement of de hoeveelheid vermeden brandstof of CO2 kunnen verschillende systeemgrenzen worden aangehouden. In het kader van dit onderzoek worden de grenzen strak om de AVI gelegd. Dat wil zeggen dat de rendementen of bijdrage worden bepaald op basis van de bij de AVI uitgaande energiestromen.

Op basis van de ontwikkeling van de in dit hoofdstuk gedefinieerde intrinsieke of installatie-eigen rendementen, worden in het vervolg van dit onderzoek achtereenvolgens de REB-regeling (hoofdstuk 5), de MEP-regeling (hoofdstuk 6) en de SDE-regeling (hoofdstuk 7) voor de AVI's geëvalueerd.

---

<sup>15</sup> Dit kan aan de orde zijn indien bijvoorbeeld restwarmte kan worden geleverd, die anders verloren zou gaan en dus niet niet bijdraagt aan de productie van stoom.





## 5 Het REB-convenant (evaluatie ex post)

### 5.1 Inleiding

Met het convenant “Energie uit afval”, het zogenaamde REB-convenant, kwamen de Staat en afvalverbranders overeen om de totale hoeveelheid energie uit afval, uitgedrukt in vermeden fossiel, met 23 % te verhogen. In ruil daarvoor zouden de afvalverbranders, net als de (andere) producenten van duurzame energie, gedurende drie jaar aanmerking komen voor gedeeltelijke terugsluizing van afgedragen REB-gelden.

Volgens het evaluatierapport is de doelstelling van het convenant om 23% meer energie uit afval te leveren, gehaald (KEMA, 2002a). Niet bekend is in hoeverre het convenant werkelijk heeft bijgedragen aan meer duurzame energie uit afval en of ook de energie-efficiency van de AVI's is verbeterd.

In hoofdstuk 4 zijn voor de AVI's prestatie-indicatoren gedefinieerd: het intrinsiek thermisch rendement, het intrinsiek elektrisch rendement en de CHPR (paragraaf 4.2). Doel van dit hoofdstuk is antwoord te geven op de vraag in hoeverre het convenant heeft bijgedragen aan verbetering van de energie-efficiency van de AVI's, het intrinsiek thermisch en elektrisch rendement in het bijzonder (onderzoeksvraag 3). De uitkomst zal worden verklaard uit het verloop van het beleid- en onderhandelingsproces voorafgaand aan het convenant.

In paragraaf 5.2 wordt daarom eerst het beleidsproces rond de REB-regeling voor de AVI's en het verloop van de onderhandelingen over het convenant beschreven. Paragraaf 5.3 gaat in op de behaalde resultaten in relatie tot de taakstelling van het convenant, alsmede de ontwikkeling van de rendementen zoals in voorgaand hoofdstuk gedefinieerd. Paragraaf 5.4 gaat in op de kosten en baten van de regeling voor zowel de AVI's als de overheid. In paragraaf 5.5 wordt ten slotte getracht de bevindingen te verklaren.

### 5.2 Beleids- en convenantproces

#### **Invoering van de bijzondere regeling voor de AVI's (Wbm, artikel 36r)**

Sinds de invoering van de regulerende energiebelasting (REB) in 1995 is het verbruik van onder meer energie en brandstoffen belast. Met een deel van de opbrengsten werd de inkomstenbelasting verlaagd (vergroening van het fiscale stelsel), de rest zou naar de producenten van duurzame energie worden terugsluisd.

Bij de invoering van de REB-regeling werd alle energie uit afval nog als duurzaam aangemerkt. Dat verandert als in het voorjaar van 1997 de nota Duurzame energie in opmars verschijnt (Ministerie van EZ, 1997). Energie uit afval zal voortaan naar rato van het aandeel biomassa, als duurzaam worden geteld. Omdat de AVI's een grote bijdrage aan de productie van duurzame energie leverden en het ministerie van Economische Zaken als gevolg van deze aanpassing haar doelstellingen niet meer kan halen, wordt in de nota tevens de bijzondere regeling voor de AVI's aangekondigd. Het energetisch rendement van de AVI's was met gemiddeld 22% laag. De AVI's konden een belangrijke extra bijdrage leveren aan de totale productie van de duurzame energie (Ministerie van EZ, 1997).

Feitelijk was tussen de ministeries van VROM en EZ op ministerieel nivo een pakketmaatregel overeengekomen. Het ministerie van VROM zal de heffing op het storten van brandbaar afval verhogen. De opbrengst kan via de REB-regeling, naar rato van het aandeel biomassa, naar de sector worden terugsluisd (Ministerie van EZ, 1998). Op ambtelijk nivo was het aandeel biomassa op 50% vastgesteld. Het ministerie van VROM heeft nog voorgesteld dit naar boven af te ronden tot bijvoorbeeld 60% en om het geld zonder meer terug te geven. Met betrekking tot de ladder van Lansink wilde het departement pragmatisch omgaan: “Soms is het beter iets te verbranden dan te trachten materialen tot in het oneindige opnieuw te gebruiken” (Hermens, bijlage 1). Dit alles om hergebruik en verbranden ten opzichte van storten te bevorderen. Het ministerie van EZ ging daarentegen voor maximaal 50% en wilde in ieder geval een tegenprestatie zien. Motieven daarvoor waren dat zo de kosteneffectiviteit van de regeling werd geborgd en de duurzame energiedoelstellingen veilig gesteld, zodat het convenant ook politiek verkoopbaar was.

Nog voor de het wetsvoorstel inzake de regeling voor de AVI's naar de tweede kamer wordt gestuurd dringt de stichting Natuur en Milieu (SNM) er bij de ministeries op aan af te zien van de regeling (Stichting Natuur en Milieu, 1997). Energie uit afval is niet duurzaam en het verbranden van afval moet vooral niet financieel worden gestimuleerd. Bij de behandeling in de tweede kamer bleek dat ook de linkse partijen moeite hadden het als duurzaam erkennen van energie uit afval. Voor het ministerie van EZ was het doel van de regeling om het verlies van de niet (volledig) duurzame AVI stroom te compenseren. Gelet op het verbeterpotentieel en hun eind jaren '90 nog relatief grote bijdrage had men daarvoor een extra energiebijdrage van de AVI's nodig. Probleem was echter dat een regeling voor teruggave via het REB-convenant betekende dat, juist vanwege de reeds grote bijdrage, direct veel geld naar de sector zou vloeien.

Door in een aparte regeling te voorzien sneed het mes aan twee kanten: ten eerste was de regeling van bepaalde duur, ten tweede kon een tegenprestatie worden verlangd. Bovendien werd zo de politiek gevoelige discussie over het wel of niet duurzaam zijn van energie uit afval omzeild. De teruggave vindt plaats naar rato van het aandeel biomassa, maar kan door de minister worden bijgesteld als de uitvoering van het convenant daartoe aanleiding geeft.

### **Onderhandelingsproces over het af te sluiten REB-convenant (EZ, 1997-1999)**

In de verkennende gesprekken over de teruggave regeling tussen de ambtenaren van het ministerie van EZ en de sector lijkt snel overeenstemming over het convenant te kunnen worden bereikt. Met name het Afvalenergiebedrijf Amsterdam (AEB) en de Huisvuilcentrale (HVC) Alkmaar zien mogelijkheden voor levering van warmte (Van der Linde, 1995)(Vereniging Van Afval Verbranders, 1996a, 1996b, 1997). Binnen de sector hadden met name de nieuwe AVI's echter moeite met de beoogde regeling. Zij hadden al een hoog rendement waardoor er niet veel te verbeteren viel. Mogelijkheden tot afzet van warmte leken beperkt. Bovendien was de sector van mening dat er sprake was van een rechtsongelijkheid ten opzichte van de overige vormen duurzame energie. Er wordt een onderhandelingsdelegatie namens de sector gevormd, die om principiële redenen inzet op 100% teruggave. Dit naar het oordeel van de overheidsvertegenwoordigers zonder of dan toch een zo laag mogelijke tegenprestatie (Koenen, bijlage 1; Pfeiffer, bijlage 1).

Het volharden in standpunten over de grondslag van de regeling, de omvang van de taakstelling voor de sector en de sanctiebepalingen resulteert in een proces dat door alle betrokkenen als moeizaam is ervaren (Pfeiffer, bijlage 1; Koenen, bijlage 1; Hermens, bijlage 1; Van Egmond, bijlage 1). NOVEM toonde als bemiddelaar soms begrip voor de standpunten van de sector. Door NOVEM aangedragen feiten en resultaten van onderzoek over onder meer de rentabiliteit van energieopwekking door AVI's of omvang van hun verbeterpotentieel, werden door het ministerie van EZ echter direct gebruikt om de argumenten van de sector te weerleggen.

Indien geen overeenkomst zou worden bereikt, dan had de minister van EZ of de ministers van EZ en VROM gezamenlijk in een brief aan Tweede Kamer gemeld dat de onderhandelingen mislukt waren. Als de sector dan via de kamer de minister alsnog had willen beïnvloeden, had deze kunnen antwoorden dat men a) er alles aan gedaan had en b) hetgeen de sector wenste niet voldeed aan de criteria voor kosteneffectiviteit (Pfeiffer, bijlage 1).

Na bijna twintig formele overlegvergaderingen en enkele informele gesprekken wordt medio 1999 overeenstemming bereikt over de voorwaarden waaronder de AVI's voor de regeling in aanmerking kunnen komen. In ruil voor teruggave van de REB-gelden (geschat op circa 50 miljoen euro) zal de hoeveelheid energie uit afval met 23 % toenemen, overeenkomend met 5,1 pJ vermeden fossiel ofwel 234 kton CO<sub>2</sub>/jaar.

### **Uitkomst van het proces: het convenant "Energie uit afval"**

Gelet op standpunten van het ministerie van EZ in de onderhandelingen had het departement feitelijk invulling van de teruggave regeling voor ogen conform de bestaande criteria voor subsidieregelingen. Zo had de beoogde verbetering van het energierendement van de AVI's bijvoorbeeld ook door middel van een meerjarenafspraak in het kader van het CO<sub>2</sub>-reductieplan geregeld kunnen worden. Deze optie is echter nooit aan de orde geweest. Op ministerieel nivo was tussen de ministeries van VROM en EZ immers een pakketmaatregel overeengekomen, zij het dat het ministerie van EZ wel de voorwaarde van een verbetering van de energieprestatie had binnengehaald. De overheid meent dat de sanctiebepalingen juridisch

behoorlijk dichtgetimmerd zijn (Koenen, bijlage 1). Ongeacht de resultaten van het convenant lijkt de kosteneffectiviteit gewaarborgd.

De sector heeft ingezet het voor 100% meetellen van AVI stroom, teruggave zonder meer of anders een (minimale) inspanningsverplichting. Terugsluizing van REB-gelden heeft nu plaats naar rato van het aandeel biomassa, of zelfs minder. Discussie over het al dan niet duurzaam zijn van energie uit afval is daarmee voorlopig in de ijskast gezet (Didde, 2000). Er is geen lijst met specifieke projecten opgenomen, maar de totaaldoelstelling is erg ambitieus en de sector zal alles uit de kast moeten halen om de doelstelling te realiseren. Zonder een gemotiveerde verklaring van overmacht zal het niet halen van de taakstelling leiden tot een terugvordering door de overheid. In materieel opzicht lijkt de overheid veel bereikt te hebben. Het idee om alleen de ten behoeve van dit convenant opgerichte vereniging regulerende energiebelasting en afvalverbranders (VEREBA) te laten ondertekenen is niet gelukt. Iedere AVI ondertekende met het convenant dus ook de sanctiebepalingen.

Ondanks dat sprake was van een totaaldoelstelling in plaats van de gewenste lijst met individuele projecten per AVI, werd de totaaldoelstelling door haar adviseur NOVEM als zeer ambitieus betiteld (Pfeiffer, bijlage 1). Op basis van de criteria van het CO<sub>2</sub>-reductieplan was de regeling voor de AVI's met een prijs van circa 200 Euro / ton CO<sub>2</sub> wel hoog maar, gegeven de overeengekomen taakstelling, 23 % meer energie uit afval, zeker niet onredelijk (Pfeiffer, bijlage 1). Ten opzichte van 1997 zal de totale productie van duurzame energie toenemen met bijna 15 %, de grootste sectorale bijdrage die ooit is gerealiseerd.

Voor het ministerie van VROM is een resultaat van het beleid- en onderhandelingsproces in ieder geval dat het opwekken van (duurzame) energie uit afval leidraad voor het duurzaamheidsdenken is geworden. In de politiek wordt het begrip duurzaam daarentegen soms verward met "schoon". Zo heeft men moeite met het bij stoken van afvalhout in een biomassacentrale omdat dat wel eens geveerd kan zijn. Bij gelijke emissie-eisen blijft daarom een belangrijke rol voor de "schone" AVI's bestaan (Hermens, bijlage 1). Wel verwacht het ministerie van VROM dat de installaties in de toekomst vooral warmte zullen gaan leveren in plaats van elektriciteit. Artikel 36r van de Wet belastingen op Milieugrondslag (Wbm), de bijzondere regeling voor de AVI's, stuurt daar nog niet op aan.

### **5.3 Resultaten van het convenant**

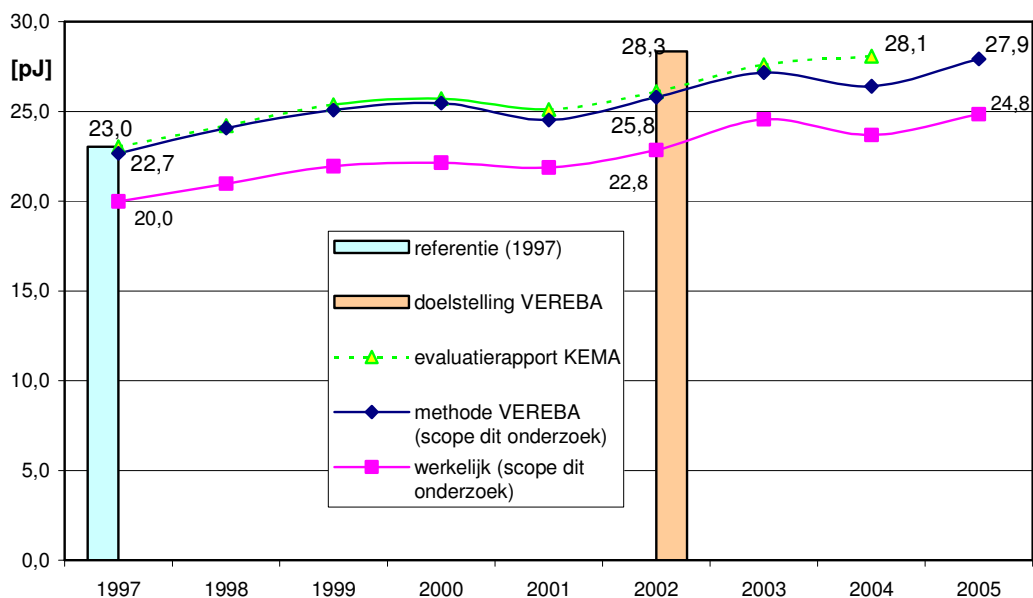
Het convenant liep van 1 augustus 1999 tot en met juli 2002. Aangenomen dat eventueel ook maatregelen zijn genomen die pas na afloop van het convenant tot zichtbare verbetering van de prestaties hebben geleid, worden de prestaties tot en met 2005 beschouwd. Zie bijlage 10 voor de overige uitgangspunten van deze kwantitatieve beoordeling.

#### **5.3.1 Vermeden primaire en fossiele brandstof**

Met betrekking tot de uitvoering van het convenant werd de prestatie van de AVI's, in zowel de tussentijdse rapportages als de eindevaluatie, uitgedrukt in termen van vermeden fossiel (KEMA, 2002a). Gelet op het aandeel biomassa in de brandstofwaarde en de definitie in het kader van dit onderzoek (par. 4.4) ging het feitelijk om de "vermeden primaire brandstof". In deze paragraaf wordt de prestatie van de AVI's in het kader van het convenant op basis van zowel de vermeden primaire als de vermeden fossiele energie behandeld.

#### **Vermeden primaire brandstof**

De doelstelling van het convenant was een verbetering van 5,1 pJ vermeden primair ofwel 23% meer energie uit afval. In figuur 5.1 is de vermeden inzet van primaire brandstof volgens de door VEREBA gevolgde methode en de ten behoeve van dit onderzoek gedefinieerde methode weergegeven.



Figuur 5.1 Vermeden primaire brandstof volgens de verschillende benaderingen uitgedrukt in [pJ]

Uit figuur 5.1 blijkt dat er een structureel verschil bestaat tussen de prestatie die is berekend volgens de VEREBA methodiek en de prestatie die is berekend volgens de methode ten behoeve van dit onderzoek. Het verschil wordt verklaard doordat:

- In de VEREBA methode de netto levering niet werd gecorrigeerd voor inzet van fossiele ondersteuningsbrandstof door de AVI's. Dit resulteert een extra bijdrage van circa 1,4 pJ per jaar termen van vermeden primair;
- De systeemgrenzen niet strikt rond de AVI's zijn gelegd. Dit speelde met name bij de installatie van AVR in Rozenburg, waar de twee draaitrommel ovens voor verwerking van gevaarlijk afval binnen de systeemgrens vielen. Dit resulteerde in circa 0,5 pJ extra in termen van vermeden primair;
- De bij de eindevaluatie afgegeven verwachting voor 2004 ook rekening hield met de bijgestelde doelstelling in verband met het wegvallen van een deel van de warmtelevering door AVR Rozenburg aan haar installatie voor de productie van gedestilleerd water en het niet doorgaan van twee stadsverwarmingprojecten (AVR Rotterdam, HVC Alkmaar). Door de betrokken partijen werd overeengekomen deze tegenvallers als overmacht voor de AVI's te bestempelen. In de eindevaluatie is de totale prestatie voor deze tegenvaller "gecorrigeerd" door 0,5 pJ bij de werkelijke prestatie op te tellen (KEMA, 2002c);
- In de eindevaluatie de resultaten voor de jaren 2002, 2003 en 2004 op verwachtingen zijn gebaseerd.

#### VEREBA

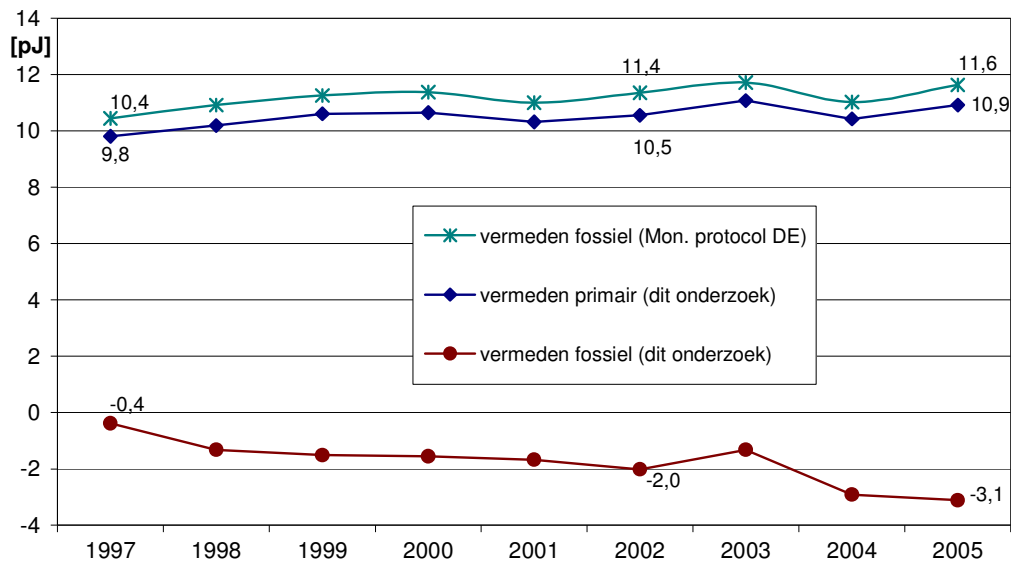
Volgens de benadering van de VEREBA bedroeg de bijdrage van de AVI's in 2005 28,0 pJ, ten opzichte van 1997 een verbetering van 5,0 pJ (22%).

#### Dit onderzoek

Volgens de in dit onderzoek gedefinieerde benadering (par. 4.4) is de bijdrage van de AVI's toegenomen met 4,6 pJ. Absoluut gezien is doelstelling van 5,3 pJ daarmee niet gehaald. Relatief gezien is de doelstelling met een relatieve toename van 24% wel gehaald, zij het niet zoals bij de eindevaluatie werd verwacht in 2004, maar pas in 2005 (KEMA, 2002c).

#### Vermeden fossiele brandstof

In figuur 5.2 is hoeveelheid vermeden fossiele brandstof volgens het *monitoring protocol duurzame energie* en de hoeveelheid vermeden fossiele energie conform de in het kader van dit onderzoek gedefinieerde benadering weergegeven. Wat betreft de volgens het *Monitoring protocol* berekende bijdrage wordt onderscheid gemaakt tussen de afbakening die is gebruikt bij de evaluatie van het convenant en de afbakening volgens dit onderzoek.



Figuur 5.2 Vermeden fossiel volgens de verschillende benaderingen

#### Monitoring protocol Duurzame Energie

Indien berekend volgens het Monitoring Protocol Duurzame energie, is de bijdrage van de AVI's toegenomen van 10,5 (1997) tot 11,7 pJ vermeden fossiel in 2005. Dit gaat trendmatig gelijk op met de in dit onderzoek gevolgde benadering voor vaststelling van hoeveelheid elders vermeden fossiel (par. 4.4), zij het dat die bijdrage absoluut gezien iets lager ligt. De eveneens volgens paragraaf 4.4 berekende hoeveelheid "vermeden primair" nam toe van 9,9 naar 10,9 pJ, een stijging van 10%.

#### Volgens dit onderzoek

Uitgedrukt in "netto vermeden fossiel" is de bijdrage van de AVI's afgenomen van -0,2 pJ naar -2,7 pJ. Deze afname wordt volledig verklaard door de toename van het rendement van de referentie installaties voor de opwekking van elektriciteit, de afname het aandeel biomassa in het afval en wellicht ook de afname van de (relatieve) omvang van de warmtelevering. Dit aangezien het eigen verbruik aan elektriciteit en fossiele brandstof van de AVI's tussen 1997 en 2002 daalde.

Absoluut gezien is de bijdrage in termen van "vermeden fossiel" negatief doordat het aandeel biomassa in het afval niet opweegt tegen het, ten opzichte van de referenties, lagere rendement van de AVI's<sup>16</sup>.

**Conclusie:** het saldo van de elders vermeden en eigen inzet c.q. input van fossiele brandstof, is voor de AVI's negatief.

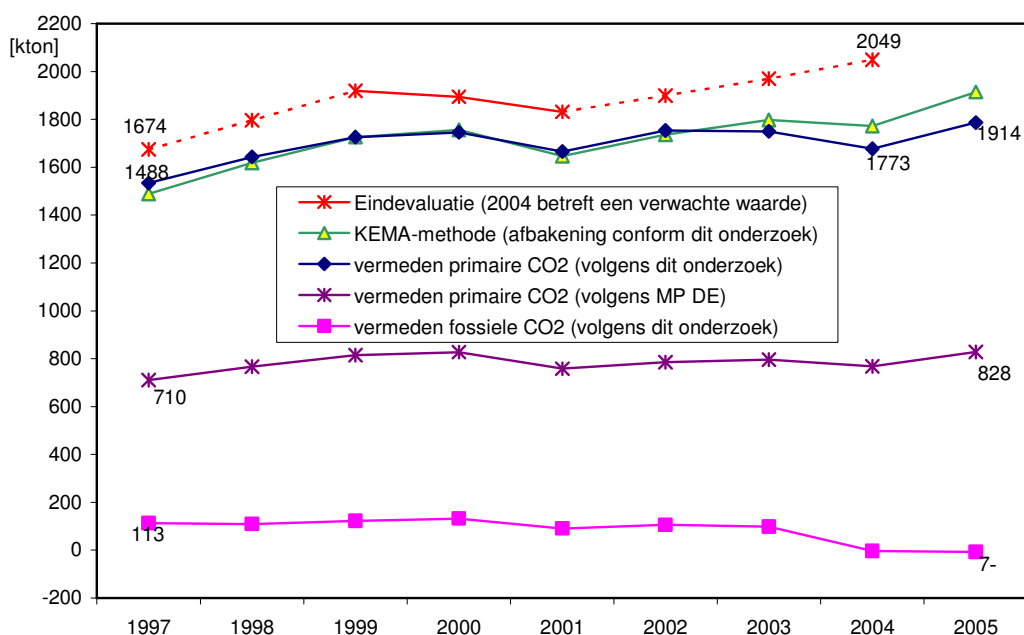
### 5.3.2 Vermeden CO2

Bij vaststelling van de vermeden uitstoot van CO2 elders, door de AVI's, is het van belang welke uitgangspunten worden aangehouden. In de eindevaluatie van het convenant werd bij de vaststelling van de vermeden CO2 alle energie uit afval meegeteld (KEMA, 2002c). Verder werd geen rekening gehouden met het niet biogene aandeel koolstof in de brandstof, noch met de inzet van fossiele ondersteuningsbrandstof door de AVI's zelf.

Omdat voor de evaluatie van het convenant uitsluitend de resultaten over de jaren 1997 en 1999 tot en met 2001 bekend waren, is door KEMA voor 2002 tot en met 2004 een verwachting afgegeven. Ter controle is de destijds afgegeven verwachting getoetst aan de gegevens conform de afbakening ten behoeve van dit onderzoek (par. 4.4).

<sup>16</sup> Het eigen verbruik van elektriciteit en inzet van fossiele brandstof is tussen 1997 (3

Figuur 5.3 geeft de ontwikkeling van de hoeveelheid vermeden CO<sub>2</sub> weer volgens de methode die werd gevolgd bij de eindevaluatie van het convenant (alle energie uit afval telt, geen correctie voor eigen verbruik fossiele brandstof), volgens het *Monitoring protocol duurzame energie* (update 2006) en volgens de ten behoeve van dit onderzoek gedefinieerde methode.



Figuur 5.3 Vermeden primaire en fossiele CO<sub>2</sub> [in kton] volgens verschillende benaderingen

#### Methode eindevaluatie (alle energie uit afval telt mee)

Indien alle door de AVI's geleverde energie wordt meegerekend (uitgangspunt in het convenant alsmede de eindevaluatie), dan is de bijdrage ten opzichte van het referentiejaar met 431 kton toegenomen. De bij de eindevaluatie verwachte groei (375 kton) is ruim gehaald, zij het niet in 2004 maar pas in 2005. Relatief gezien komt de toename van 23% exact overeen met de toegenomen afvaldoorzet.

Ook nu wordt het verschil tussen de bijdrage volgens de eindevaluatie en de in het kader van dit onderzoek bepaalde hoeveelheid veroorzaakt doordat in dit onderzoek de systeemgrenzen strak om de AVI's is gelegd en voor eigen verbruik aan fossiele brandstof wordt gecorrigeerd. Zoals uit de grafiek blijkt, komen de resultaten trendmatig goed overeen.

#### Monitoring protocol (alleen biomassafractie telt)

Wordt conform het Monitoring protocol Duurzame Energie alleen gecorrigeerd voor het niet biogene deel van het afval en de eigen inzet aan fossiele brandstof, dan is zowel de absolute bijdrage als de toename lager. De toename is in dat geval beperkt tot 117 kton CO<sub>2</sub>, een groei van 17%.

#### Volgens dit onderzoek (elders vermeden minus eigen uitstoot fossiel)

Wordt de elders vermeden (of primaire) CO<sub>2</sub> verminderd met de eigen uitstoot aan fossiele CO<sub>2</sub> dan is de bijdrage afgenomen van 113 kton naar - 7 kton vermeden fossiele CO<sub>2</sub>. Net als bij de vermeden fossiele brandstof is absolute bijdrage negatief. Dat komt doordat het voordeel van het aandeel biomassa vrijwel teniet wordt gedaan door het, ten opzichte van de referentie, lagere rendement en eigen verbruik aan fossiele brandstof.

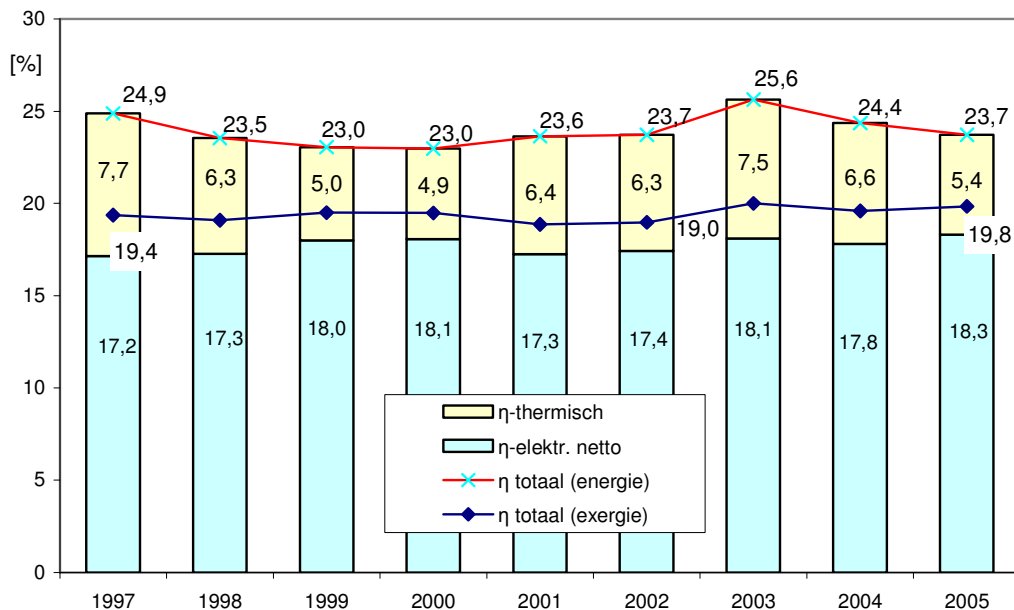
**Conclusie:** de werkelijke bijdrage van de AVI's uitgedrukt in vermeden fossiele CO<sub>2</sub> is nagenoeg nul<sup>17</sup>.

<sup>17</sup> Ook indien de AVI's "break even" zouden presteren, dat wil zeggen de eigen uitstoot aan fossiele CO<sub>2</sub> is gelijk aan de elders vermeden uitstoot van fossiele CO<sub>2</sub>, zouden ze niet CO<sub>2</sub>-neutraal zijn. Dat is per definitie uitgesloten zolang er kunststof in het afval zat.

Getalsmatig ligt de volgens het monitoring protocol "(elders) vermeden fossiele CO<sub>2</sub>" tussen de hoeveelheid *vermeden primaire CO<sub>2</sub>* en de in het kader van dit onderzoek gedefinieerde *netto vermeden fossiele CO<sub>2</sub>*. Uit deze casus wordt duidelijk dat de berekende bijdrage sterk afhangt van de gevolgde benadering.

### 5.3.3 Klassiek rendement (energie en exergie)

In figuur 5.4 is de ontwikkeling van het (naar brandstofinput gewogen gemiddelde) netto rendement van de AVI's op basis van energie en exergie weergegeven.



Figuur 5.4 Ontwikkeling van het (naar brandstofinput gewogen) elektrisch, thermisch en WKK rendement van de 11 AVI's

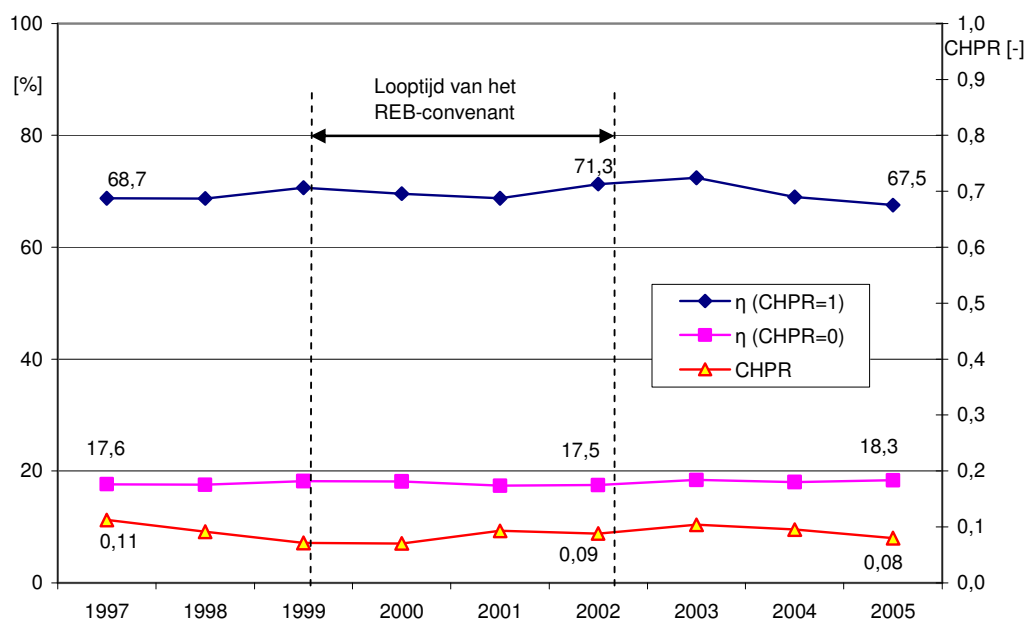
Het netto elektrisch rendement is toegenomen van 17,2% in 1997 (referentiejaar) tot 18,3 % in 2005. Het netto thermisch rendement is diezelfde periode afgenomen van 7,7 % tot 5,4 %. Het totale of WKK-rendement nam af van 24,9 % tot 23,7 % netto.

Het exergierendement is met 0,4 % toegenomen tot 19,8% in 2005. Dit kwam enerzijds door de stijging van het netto elektrisch rendement (=100% exergie) met 1,1 %-punt en anderzijds doordat het exergierendement van de warmtelevering met 0,7%-punt afnam. Dit laatste vooral doordat AVR Rozenburg de verminderde afzet van lage druk stoom aan haar desti-waterfabriek slechts ten dele heeft kunnen compenseren door levering van hoge drukstoom aan een naastgelegen bedrijf.

### 5.3.4 Intrinsiek thermisch en elektrisch rendement

Figuur 5.5 geeft de ontwikkeling van de installatie-eigen netto rendementen weer.





Figuur 5.5 Ontwikkeling van het intrinsiek netto elektrisch rendement, het intrinsiek netto thermisch rendement en de CHPR

#### Intrinsiek thermisch rendement

Het intrinsiek netto thermisch rendement is afgenomen van 68,7% (1997) tot 67,5% (2005). Dit wordt verklaard doordat:

- De installaties van Twence in Hengelo en Afvalverwerking regio Nijmegen (ARN) in Weurt pas in de loop van 1997 in bedrijf zijn genomen en het rendement over dat jaar nog niet representatief was voor de normale bedrijfsvoering. Deze opstarteffecten dragen voor respectievelijk 0,9 %-punt en 0,6%-punt bij aan verbetering van het gemiddelde;
- Het AEB de ketels heeft voorzien van extra pijpenbundels<sup>18</sup>. De warmte die voorheen in de wassers werd weg gekoeld, komt sindsdien ten goede aan het ketel- en daarmee ook het intrinsiek thermisch en intrinsiek elektrisch rendement. Het resultaat (toename van het netto intrinsiek thermisch rendement van 73,1 tot 76,0%) draagt voor circa 0,4% bij aan de verbetering van het gemiddelde van alle AVI's;
- Voor de overige AVI's, gemiddeld gezien, het intrinsiek thermisch rendement afnam, mede als gevolg van optimalisatie van de afvaldoorzet.

Alleen het AEB heeft dus specifieke maatregelen genomen ter verbetering van de intrinsiek thermisch rendement.

#### Intrinsiek elektrisch rendement

Het intrinsiek elektrisch rendement steeg van 17,6% naar 18,3% netto. Van de toename wordt 0,2 %-punt verklaard door de opstarteffecten van Twence en ARN. Verder wordt 0,1 %-punt verklaard doordat het eigen verbruik aan elektriciteit achter bleef bij de ontwikkeling van de brandstof input (+ 23 %).

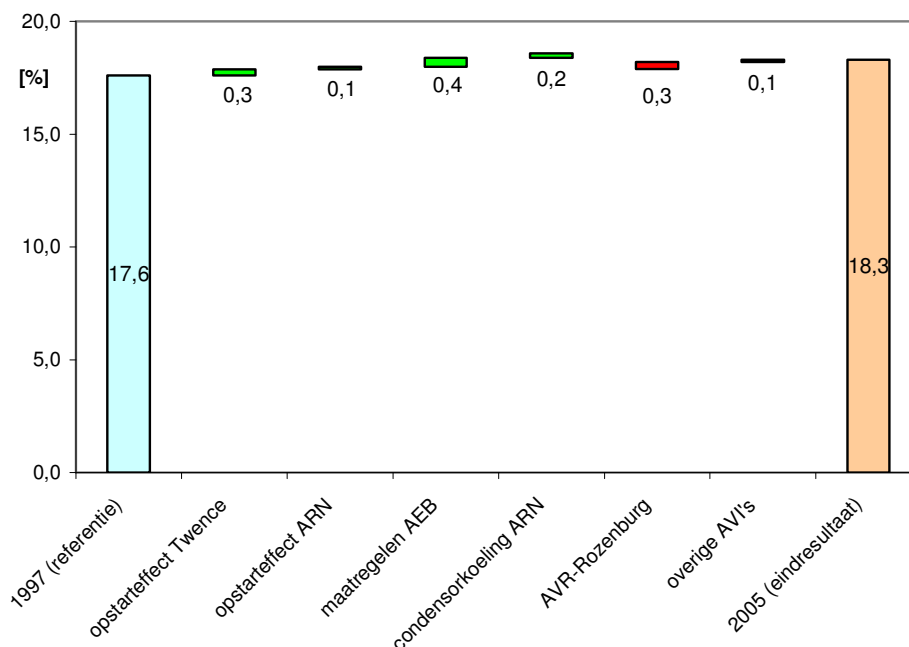
De verbetering van het ketelrendement door het AEB resulterend in een verbetering van 2,4% voor het intrinsiek elektrisch rendement van die installatie, draagt voor 0,4%-punt bij aan de verbetering van het gemiddelde van alle AVI's.

Omdat de ARN geen beschikking heeft over oppervlaktewater voor koeling van de condensoren werden luchtgekoelde condensoren toegepast. Eind 2000 is ook een watergekoelde condensor in gebruik genomen, waarmee de condensatiewarmte wordt benut om het influent van de nabij gelegen rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) op te warmen. Voor ARN was het voordeel daarvan een lagere temperatuur van de condensor, met name in de zomer. Voor de RWZI was het voordeel dat zij zonder verdere uitbreiding de capaciteit van haar installatie kon verhogen.

<sup>18</sup> Ter vermindering van zuurcorrosie is gekozen voor dubbel geëmailleerde ketelpijpen en teflon op de behuizing.

Voor ARN resulteerde de lagere condensortemperatuur in een hoger conversierendement van de turbine en daarmee ook hoger elektrisch rendement. Het intrinsiek elektrisch rendement nam ten opzichte van 2001 (aanvang warmtelevering) toe van 13,4 % naar 16,0% in 2005. Een verbetering die voor circa 0,2 %-punt doorwerkt in het gemiddelde van alle AVI's.

In figuur 5.6 is de bijdrage van deze afzonderlijke AVI's aan de ontwikkeling van het intrinsiek netto elektrisch rendement weergegeven.



Figuur 5.6 Bijdrage van de AVI's aan de ontwikkeling van het intrinsiek netto elektrisch rendement

Tegenover de verbetering bij het AEB en ARN staat de daling van het intrinsiek elektrisch rendement van 17,8 naar 16,0 % voor AVR Rozenburg, een afname van gemiddelde voor alle AVI's met 0,4 %-punt. Dit wordt mogelijk verklaard doordat de hogere afvaldoorzet resulteerde in een lager ketelrendement, en de desondanks hogere productie aan stoom niet in de twee condenserende turbines maar een van de tegendruk turbines (lager conversie rendement) moest worden afgewerkt.

Voor de overige AVI's is het intrinsiek elektrisch rendement met een bijdrage in de toename van circa 0,1 %-punt nagenoeg gelijk gebleven.

#### CHPR

Ondanks de nieuwe leveringen door ARN en het AEB is de afzet van warmte afgenomen van 946 GWh naar 806 GWh. Als gevolg daarvan en de toegenomen afvaldoorzet, is de CHPR op basis van energie tussen 1997 en 2005 gedaald van 0,11 naar 0,08.

Het is ook deze daling van de CHPR die verklaart waarom, ondanks de toename van het intrinsiek elektrisch rendement, het totale of WKK-rendement van de AVI's is afgenomen.

#### 5.4 Financiële aspecten voor de AVI's

De netto inkomsten bestonden voor de AVI's behalve uit de teruggave van de REB-gelden, ook uit de meeropbrengst in verband met hogere afvaldoorzet, de daarmee verbonden energielevering en investeringssubsidies voor de genomen maatregelen (zie bijlage 11).

##### Volgens de Eindevaluatie

De sector als geheel heeft in totaal voor 130 tot 140 miljoen geïnvesteerd. Daarvan was 48 miljoen euro bestemd voor maatregelen die werkelijk tot verbetering van het energierendement hebben geleid, het overige deel voor maatregelen ter verbetering van de beschikbaarheid en

benutting van de bestaande verbrandingscapaciteit. Dat was inclusief de maatregelen ter verbetering van de beschikbaarheid en benutting van de ovens. De totale opbrengsten werden geschat op 250 miljoen euro (KEMA, 20002c).

*Volgens dit onderzoek*

Volgens dit onderzoek bedroegen de totale investeringen in het kader van de uitvoering van het convenant 48 miljoen euro. Daar tegenover staan de totale (meer)opbrengsten van 284 miljoen euro. Voor de sector een batig saldo van ruim 200 miljoen euro. De totale subsidie van 70 tot 76 miljoen euro, oversteeg het totaal van de investeringen welke werkelijk resulteerden in verbetering van het intrinsiek thermisch, intrinsiek elektrisch of het WKK-rendement.

Uitgaande van de maatregelen die werkelijk hebben geleid tot verbetering van het energetisch rendement en uitsluitend de overheidsteun (REB-gelden + overige subsidies) bedroeg de terugverdientijd minder dan 3 maanden. Indien de som van alle investeringen, inclusief de maatregelen die hebben geleid tot verhoging van de afvaldoorzet, wordt betrokken op de totale baten gedurende de looptijd van het convenant, dan bedroeg de terugverdientijd, voor de gehele sector gemiddeld, circa 2 maanden.

In tabel 5.1 zijn de financiële aspecten van het REB-convenant voor de AVI's samengevat en is de terugverdientijd (TVT) van de maatregelen bepaald.

Tabel 5.1 Kosten en baten van de REB-regeling voor de AVI's, het convenant in het bijzonder

Kosten / baten voor de sector [miljoen € / jaar ]	Gedurende looptijd convenant				Cumulatief volgens:			Vanaf 2005 structureel per jaar
	1999	2000	2001	2002	Inschatting vooraf <sup>19</sup>	Evaluatie KEMA	Dit onderzoek	
Teruggave REB	8	20	23	15	44	65	65 – 71	
Overige subsidies	> 5 miljoen euro				-	5	5	
Uit hogere afvaldoorzet:								
- poorttarief	21	53	42	37	43 – 65 <sup>20</sup>	145 <sup>21</sup>	152	90
- extra levering elektriciteit	5	14	8	8	11,3	25 <sup>22</sup>	55	24
- extra levering warmte	0	0	0	0		0 <sup>23</sup>	7	7
<b>Totaal opbrengsten</b>					(54 – 76)	250	284	121
<b>Investeringen</b>					110	130-140	48	-
<b>TVT (o.b.v. uitsluitend REB-gelden en overige subsidies)</b>					9,5 jaar	2 jaar	8 maanden	
<b>TVT (o.b.v. totale baten, exclusief REB-gelden)</b>					10,4 jaar	1 jaar	< 3 maanden	
<b>TVT (o.b.v. totale baten, inclusief REB-gelden)</b>					-	7 maanden	2 maanden	

Twee van de maatregelen (warmtelevering door AEB en ARN) hebben werkelijk tot verbetering van het intrinsiek thermisch of elektrisch rendement geleid. Gegeven de investering van € 23 miljoen en hun opbrengst uit het convenant van € 13 miljoen, bedroeg de terugverdientijd van die maatregelen ongeveer 2 jaar. Zonder REB-gelden zou dat 4 tot 5 jaar zijn geweest.

<sup>19</sup> Door KEMA werd in haar inventarisatie onderscheid gemaakt in een realistisch en potentieel scenario. De hier genoemde getallen betreffen die van het realistische scenario.

<sup>20</sup> De nog te benutten capaciteitsruimte werd geschat op 10 tot 15 %.

<sup>21</sup> In het evaluatierapport wordt alleen voor 2001 een bedrag van 35 tot 47 miljoen EURO genoemd (KEMA, 2002d).

Voor de jaren 2002 tot en met 2004 wordt de meeropbrengst op 57 tot 76 miljoen EURO geschat. Op basis van die getallen resulteert dit over de looptijd van het convenant, in een meeropbrengst van 145 miljoen euro.

<sup>22</sup> In het evaluatierapport wordt alleen een prognose (€ 12,7 miljoen/jaar, bij 25 € / MWh) voor 2004 en verder gegeven. Hier genoemd bedrag gaat uit van dit tarief en de levering volgens de afbakening van dit onderzoek.

<sup>23</sup> Volgens KEMA zou eerst vanaf 2004 sprake zijn van meeropbrengst uit levering van warmte á € 0,8 miljoen/jaar

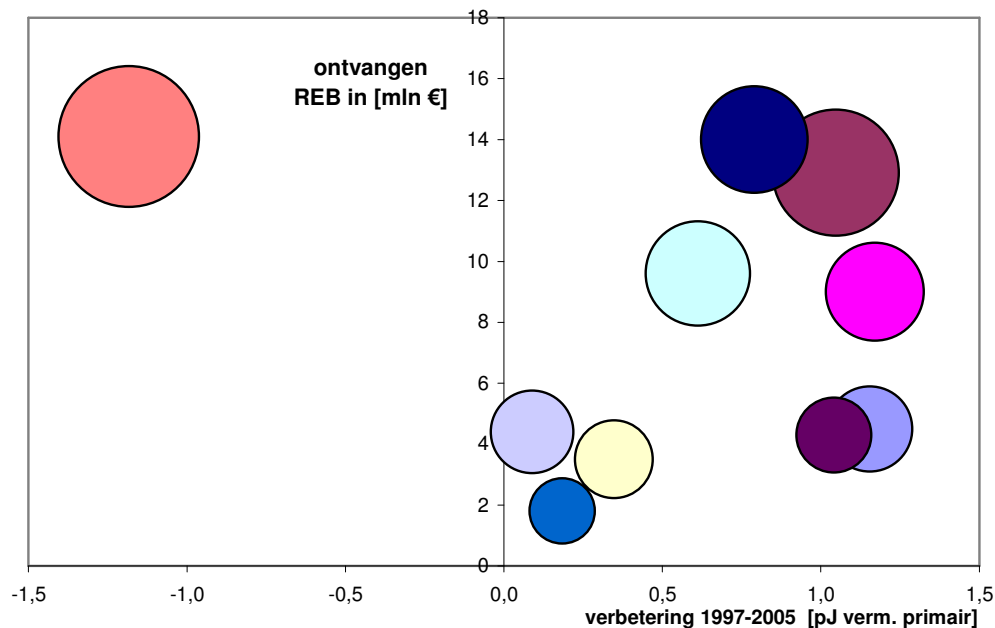
Anno 2009 bedraagt de structurele meeropbrengst als gevolg van de verhoogde afvaldoorzet circa 120 miljoen euro per jaar<sup>24</sup>.

## 5.5 Kosteneffectiviteit van de regeling

De kosteneffectiviteit van de regeling kan blijken uit de verhouding tussen de subsidie en daarvoor geleverde prestatie c.q. bereikte effecten.

### Ontvangen subsidie versus verbetering

Figuur 5.6 geeft per AVI de ontvangen REB-gelden weer, afgezet tegen de bijdrage in termen van elders vermeden fossiel volgens het *monitoring protocol Duurzame Energie* (par. 3.3.3). De omvang van de vlakken representeert de brandstofinput c.q. de anno 2002 verwerkte hoeveelheid afval.



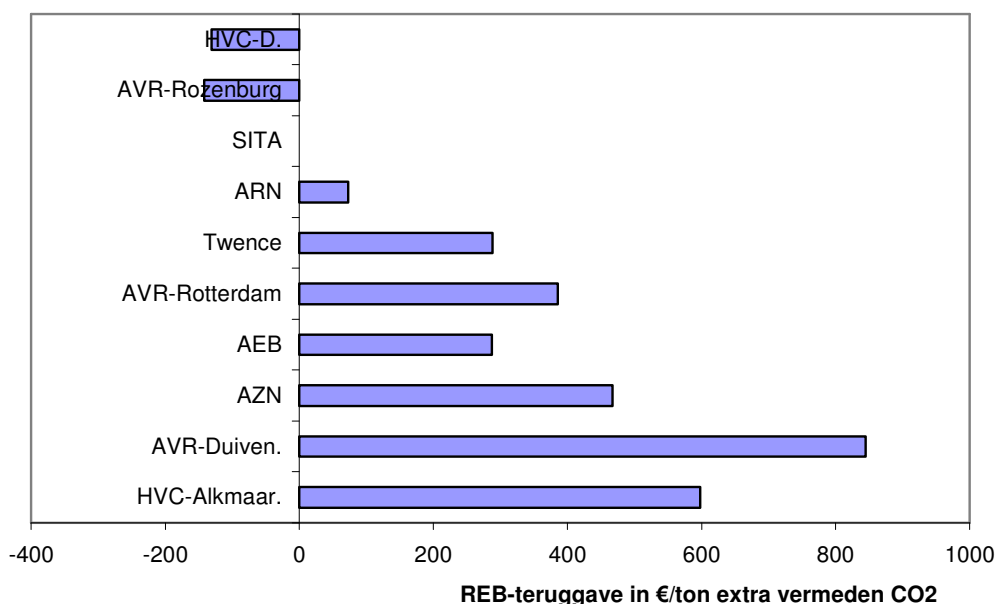
Figuur 5.7 Ontvangen REB-gelden in [mln €] versus de verbetering in pJ vermeden primaire brandstof en verwerkingscapaciteit van de installaties (anno 2002).

Uit figuur 5.7 blijkt dat er geen correlatie is tussen de geleverde prestatie en de ontvangen REB ( $r < 0,05$ ). Van de AVI's die het meeste ontvingen nam voor één installatie de bijdrage af. Voor de installaties die specifieke maatregelen ter verbetering van het rendement troffen (AEB en ARN) is sprake van een groot verschil in de verhouding tussen de terug ontvangen REB-gelden en de geleverde prestatie. Zo ontving ARN € 3 miljoen voor een verbetering van 1,1 pJ vermeden primair en het AEB € 12 miljoen voor een verbetering van 1,3 pJ vermeden primair.

### Kosten per ton vermeden CO<sub>2</sub>

In figuur 5.8 is de specifieke teruggave daarom betrokken op de ontwikkeling van de elders vermeden CO<sub>2</sub>, zoals bepaald met behulp van het Monitoring Protocol Duurzame Energie (zie par. 3.3.3). Dat wil zeggen, geen correctie voor de eigen uitstoot van fossiele CO<sub>2</sub> of eigen verbruik aan fossiele brandstof.

<sup>24</sup> Uitgaande van de reële vergoeding voor geleverd vermogen € 60/MWh, verwerkingstarief van € 90 / ton afval.



Figuur 5.8 Ontvangen REB-gelden per ton extra vermeden CO2 (verbetering 2005 t.o.v. 1997)

Uit figuur 5.8 blijkt dat er sprake was van een zeer grote spreiding in de specifieke vergoeding ( $r = -0,1$ ). Tussen de AVI's varieerde de subsidie van € 150 per ton *minder* vermeden CO2, tot ruim € 800 per ton *extra* vermeden CO2. Bij de onderhandelingen over het convenant werd een scheve verdeling van de gelden voorzien, maar de Staat heeft het aan de sector (lees VEREBA) gelaten om al dan niet tot herverdeling van de gelden te komen. Daarvan is het achteraf niet gekomen.

Volgens de meest optimistische benadering (alle energie uit afval telt mee) is de bijdrage van de AVI's in termen van vermeden CO2 tussen 1998 en 2005 toegenomen van 1488 tot 1919 kton. Uitgaande van een totale subsidie van 70 miljoen euro, bedroegen de gemiddelde kosten voor de overheid 150 euro per ton (elders) vermeden CO2. Dit is minder dan schatting van 200 euro per ton, zoals die werd gemaakt bij het afsluiten van convenant. Uitgaande van de elders vermeden fossiele CO2 (*Monitoring protocol duurzame energie*) of de vermeden fossiele CO2 (benadering in dit onderzoek) zijn de bedragen hoger. Zie tabel Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Ontvangen REB-gelden per ton (extra) vermeden CO2

Ontvangen subsidie per ton (extra) vermeden CO2 uitgaande van:	individuele installaties		Gemiddelde voor alle AVI's
	minimum	maximum	
Vermeden primaire CO2 (volgens benadering zoals gevolgd bij evaluatie van het convenant)	-/- € 200 / ton (neg. ontwikkeling)	€ 600 / ton	€ 200 / ton
Vermeden fossiele CO2 (Monitoring Protocol DE)	-/- € 700 / ton (neg. ontwikkeling)	€ 2200 / ton	€ 550 / ton
Vermeden fossiele CO2 (bijdrage berekend volgens de ten behoeve van dit onderzoek gevolgde methode)	€ 2000 / ton <u>minder</u> vermeden CO2 (negatieve ontwikkeling van de bijdrage)	€ 6000 / ton <u>minder</u> vermeden CO2 (negatieve ontwikkeling van de bijdrage)	€ 2000 / ton <u>minder</u> vermeden CO2 (negatieve ontwikkeling van de bijdrage)

Uit tabel 5.2 blijkt dat, berekend volgens het monitoring protocol, de kosten per ton vermeden fossiele CO2 veel hoger waren dan volgens de methode die bij de evaluatie van het convenant werd gevolgd. De ontwikkeling van de werkelijk vermeden fossiele CO2 was echter negatief, en daarmee ook de kosteneffectiviteit van de regeling voor de AVI's.

## 5.6 Immateriële aspecten

Behalve de materiële verbeteringen mag van een communicatief instrument als een convenant ook ontwikkeling van de bewustwording bij de deelnemers worden verwacht over hun eigen prestaties in relatie tot die van de andere deelnemers. Meten van de mate van bewustwording of verinnerlijking is geen onderwerp van dit onderzoek. Wel is hier gekeken op welke wijze de bedrijven in hun financieel- en milieujaarverslag (publieke versie en overheidsversie) inzicht geven c.q. openheid tonen over hun energieprestaties.

### Individuele AVI's

Tabel 5.3 geeft een overzicht van verantwoording van de energieprestaties door de AVI's in het financieel en milieujaarverslag.

Tabel 5.3 Verantwoording en verslaglegging inzake de energieprestaties door de AVI's in het financieel jaarverslag (FJV) en het milieujaarverslag (MJV)

	Energetisch rendement		Vermeden primair of fossiel		Vermeden CO2		Terugkoppeling over uitvoering van het convenant
	FJV	MJV	FJV	MJV	FJV	MJV	FJV / MJV
SITA	Nee	Nee	nee	nee	nee	Nee	n.v.t.
ARN	Nee	Nee	nee	nee	Nee	Nee	Nee
Twence	Nee	Nee	nee	nee	Nee	Nee	Nee
AVR Duiven <sup>25</sup>	Nee	Ja	nee	nee	Nee	Nee	Nee
Essent	Nee	Nee	nee	nee	nee	Nee	Nee
AVR -Rozenburg	Nee	2003 →	Nee	2003 →	Nee	2003 →	Nee
AVR -Rotterdam	Nee	2005 →	nee	2005 →	Nee	2005 →	Nee
AZN	Ja	Ja	nee	nee	Ja	Ja	Nee <sup>26</sup>
HVC <sup>27</sup>	2007 →	Nee	Ja <sup>28</sup>	ja	ja	Ja	Nee
AEB	Ja	Ja	nee	Ja	Ja	Ja	Ja

Zoals uit tabel 5.3 blijkt rapporteren vier van de elf bedrijven in het (gecombineerd) milieu- en of financieel jaarverslag over de energieprestaties. Drie daarvan geven ook volledig inzicht in de onderliggende gegevens en uitgangspunten van de berekeningen. Alleen het AEB geeft systematisch inzicht in doelstelling, benodigde investering en algemeen milieurendement van te treffen en getroffen maatregelen.

### Vereniging van Afvalbedrijven (VA)

In het jaarbericht van de Vereniging van afvalbedrijven wordt de bijdrage van de AVI's aan de productie van duurzame energie uitgedrukt in termen van:

- Netto geleverde energie (GWh elektrisch en GWh thermisch);
- Vermeden "primaire" energie (pèta Joule =  $10^{15}$  Joule);
- Aantal huishoudens (circa 1,1 miljoen) dat een dergelijke hoeveelheid energie verbruikt (VA, 2006).

De grondslag voor de berekeningen wordt niet vermeld, maar gelet op de gerapporteerde bijdrage in termen van vermeden fossiel (ca. 25 pJ), betreft het alle energie die door de AVI's wordt geleverd. Er wordt dus geen rekening gehouden met de fractie kunststof in het afval. De rapportages van de sector geven geen inzicht de bijdrage of efficiency van de afzonderlijke installaties, noch in de werkelijke bijdrage in termen van vermeden fossiel of CO2.

**Conclusie:** Het REB-convenant heeft niet geleid tot (meer) openheid of transparantie met betrekking tot de energieprestaties in bijvoorbeeld de jaarverslagen.

<sup>25</sup> Voor de AVR bedrijven wordt op holding niveau één gecombineerd financieel en milieujaarverslag gepubliceerd.

<sup>26</sup> AZN gaat in haar MJV (overheidsversie) over 2002 uitvoerig in op het REB convenant en de volgens de evalueerders daarmee bereikte resultaten. In kwantitatieve zin blijven de prestaties echter onbesproken.

<sup>27</sup> Sinds 2007 wordt door de HVC groep één verslag uitgebracht met daarin alleen het totaal van de AVI's in Alkmaar en Dordrecht.

<sup>28</sup> Vermeden fossiel, uitgedrukt in termen miljoen m3 aardgas.

## 5.7 Bevindingen van de evaluatie (discussie)

### *Perceptie van de situatie en doelstellingen van het convenant*

Als eind jaren negentig alleen nog de energie uit de biomassa in het afval als duurzaam mag worden geteld, komt realisatie van de duurzame energiedoelstelling in gevaar. Gelet op de grote bijdrage en het verbeterpotentieel van de AVI's, heeft het ministerie van EZ hen nodig om de doelstellingen alsnog te halen. Het probleem was niet zozeer de efficiency maar de gehalveerde bedrage van de AVI's aan de productie van duurzame energie. Met het REB-convenant stond dan ook verhoging van de output centraal. Dat moest bij voorkeur worden bereikt door verhoging van de efficiency, maar daarover werden het in het convenant geen afspraken gemaakt. De teruggave vond plaats op basis van het netto geleverd elektrisch vermogen uit de biomassafractie.

### *Resultaten van convenant in het bijzonder*

De doelstelling om de output te verhogen is voor 90% behaald door verhogen van de afval doorzet. Circa 10% is bereikt door toename van het intrinsiek elektrisch rendement bij twee van de elf AVI's. Op basis van exergerie is het WKK-rendement zelfs afgenomen.

Gelet op de CHPR van 0,1 was vooral de ontwikkeling het intrinsiek netto elektrisch rendement relevant. Er zijn aannames gedaan, maar de geïntroduceerde onzekerheden zijn kleiner dan de "natuurlijke" variatie van dit rendement over de onderzochte periode. De aannames doen daarmee niets af aan de conclusies met betrekking tot de ontwikkeling van het intrinsiek netto thermisch rendement, het intrinsiek netto elektrisch rendement en de CHPR.

Geconcludeerd is dat de doelstellingen ook zonder het convenant bereikt zouden zijn. Dit gelet op de wijze waarop deze zijn behaald en een bedrijfseconomische beschouwing. Voor zover al specifieke maatregelen ter verbetering van de installatie-eigen rendementen of CHPR waren genomen, hadden deze een terugverdientijd van 2 tot 5 maanden. In de praktijk worden maatregel met een terugverdientijd tot 5 jaar nog als zeker beschouwd. Zelfs indien de baten een factor 2 te hoog zouden zijn ingeschat, dan wordt de conclusie gehandhaafd.

### *Het convenant als beleidsinstrument*

Wat betreft de output (bijdrage in termen van vermeden primaire energie) zijn de doelen van het convenant gehaald, zij het pas in 2005. Het convenant fungeerde hier niet als een klassiek communicatief instrument, maar als middel om voorwaarden te verbinden aan het vrijkomen van financiële middelen. Daarmee was feitelijk sprake van een contract. De conclusie is dat het convenant niet heeft geleid tot verbetering van de installatie-eigen rendementen. De CHPR is gedurende de looptijd van het convenant zelfs afgenomen. De oorzaken daarvan zijn met behulp van een Root Cause analysis (basisoorzaak analyse) bepaald.

### *Gegevens m.b.t. het intrinsiek thermisch en elektrisch rendement*

Voor de bepaling van het intrinsiek elektrisch rendement (bruto en netto) waren alle benodigde gegevens (brandstofinput, elektrisch vermogen opgewekt en geleverd) beschikbaar. Dat geldt niet voor het intrinsiek thermisch rendement, omdat daarvoor per installatie volledig inzicht in de stoombalans nodig is. Twee AVI's uitgezonderd, was alleen de totale stoomproductie bekend. In die gevallen is het eigen verbruik aan stoom op 5% van de energietoevoer gesteld. Voor de temperatuur van de stoom is de ontwerpwaarde zaangehouden (zie bijlage 1). Omdat de werkelijke (jaargemiddelde) temperatuur van het ketelvoedingwater bekend was, is voor alle installaties een temperatuur van 140 °C aangehouden.

Met deze aannames worden mogelijk ook fouten en dus onzekerheid over de berekende rendementen, alsmede de daaraan verbonden conclusies geïntroduceerd. Voor waardering van de conclusies is inzicht in de grootte van onzekerheid van belang. Zie bijlage 21 voor de uitwerking van de foutenberekening. In tabel 5.4 zijn de uitkomsten samengevat.

Tabel 5.4 Betrouwbaarheidsintervallen voor installatie-eigen rendementen (11 AVI's)

	Grondslag	1997	2005
$\eta_{ketel}$	energie	76,5 ± 3,5 %	76,2 ± 3,5 %
$\eta_{thermisch, bruto}$ (CHPR = 1)	energie	57,3 ± 3,6 %	57,2 ± 3,6 %
$\eta_{thermisch, netto}$ (CHPR = 1)	energie	53,3 ± 3,6 %	53,2 ± 3,6 %
$\eta_{thermisch, bruto}$ (CHPR = 1)	exergie	36,8 ± 2,3 %	36,5 ± 2,3 %
$\eta_{thermisch, netto}$ (CHPR = 1)	exergie	32,8 ± 2,3 %	32,5 ± 2,3 %
$\eta_{elektrisch, bruto}$ (CHPR = 0),	energie, exergie	21,6 ± 0,4 %	22,3 ± 0,4 %
$\eta_{elektrisch, netto}$ (CHPR = 0)	energie, exergie	17,6 ± 0,4 %	18,3 ± 0,4 %
CHPR	energie	0,136 ± 0,004	0,095 ± 0,004

Gelet op de lage CHPR en het feit dat het intrinsiek elektrisch rendement wel voor alle installaties nagenoeg exact kon worden berekend doen de aannames voor stoomtemperatuur, ketelvoedingwatertemperatuur en het eigen verbruik aan warmte niets af aan de conclusies met betrekking tot de ontwikkelingen van de installatie-eigen rendementen (par. 5.3.4).

#### *Inschatting van de kosten en baten van de REB-regeling voor de AVI's*

Omdat KEMA geen inzage kreeg in de kosten en baten voor de afzonderlijke AVI's, heeft zij haar eindevaluatie deels gebaseerd op de eerder door haar uitgevoerde inventarisatie van de technisch mogelijke verbetermaatregelen en raming van de daarmee gepaard gaande kosten. In onderhavig onderzoek kon de terug ontvangen REB-gelden exact worden berekend uit het bruto opgewekt dan wel netto geleverd elektrisch vermogen. Wat betreft de overige subsidies komen het bedrag uit de eindevaluatie en het hier vastgestelde bedrag nagenoeg overeen (par. 5.4).

Dit ligt anders voor de extra opbrengsten uit de hogere doorzet aan afval, die wel sterk van de vergoeding voor geleverd elektrisch vermogen afhangen. Gelet op de conservatieve aannames voor de vergoeding voor geleverd elektrisch vermogen en verwerkingstarieven doet dit niets af aan de belangrijkste conclusie (par. 5.4). Die luidt dat de (structurele) meeropbrengsten uit de extra doorzet van afval een veelvoud bedragen van de terug ontvangen REB-gelden. De maatregelen zouden daarom vrijwel zeker ook zonder de REB-gelden zijn genomen. Dat geldt zeker voor het warmteproject van ARN, dat vóór het in werking treden van het convenant al in voorbereiding was.

#### *Kosteneffectiviteit van het REB-convenant voor de overheid*

De kosteneffectiviteit van de regeling wordt door de overheid afgemeten aan de uitgekeerde bedragen per ton vermeden CO<sub>2</sub>. De omvang van de terug gesluisde REB-gelden is, gegeven de betrouwbaarheid van de gegevens over voor het opgewekt of geleverd vermogen exact bekend. De hoeveelheid vermeden CO<sub>2</sub> is daarentegen, zoals uit deze evaluatie ook bleek, wel sterk afhankelijk van de grondslag van de berekeningen en eventueel gedane aannames voor kentallen. Uitgaande van de elders vermeden CO<sub>2</sub> en de meest optimistische benadering (verbetering als gevolg van hogere afvaldoorzet telt mee), bedroeg de vergoeding al € 150 per ton CO<sub>2</sub>.

**Conclusie:** de verhouding tussen de verstrekte subsidie en de bijdrage in termen van vermeden CO<sub>2</sub>, zegt niets over ontwikkeling van de parameters die werkelijk relevant zijn voor het presteren van de AVI's: het intrinsiek thermisch en intrinsiek elektrisch rendement.

#### *Doelmatigheid van de REB-regeling voor de AVI's*

De doelstelling van het convenant, 23% meer energie uit afval, uitgedrukt in vermeden fossiel, werd gehaald. De oorspronkelijke opzet van de bijzondere regeling voor de AVI's was echter de prestaties van de AVI's te verbeteren, bij voorkeur door verbetering van het rendement. De REB-gelden zou slechts dienen ter financiering van de onrendabele top. De grote variatie in met name het intrinsiek elektrisch rendement van de installaties is niet verminderd. Zo varieerde het intrinsiek elektrisch rendement anno 2005, 2 jaar na afloop van de regeling nog steeds tussen - 5 % (de 2 ovens van HVC Dordrecht zonder ketel, heet waterketels van SITA



Roosendaal) en 30% netto voor AZN Moerdijk. De doelstelling van het convenant zou ook zonder de REB-regeling zijn gehaald (par. 5.3.4).

**Conclusie:** Gelet op de output versus doelstellingen was de REB-regeling voor de AVI's, i.c. het REB-convenant, niet doelmatig.

Deze conclusie wijkt af van de formele eindevaluatie. Daarin wordt geconcludeerd dat zonder de REB-regeling voor de AVI's, de verbetering zich had beperkt tot 0,4 pJ. De bijdrage als gevolg van het volledig in bedrijf komen van de in 1997 in bedrijf genomen AVI's (KEMA, 2002c).

#### *Kosteneffectiviteit van de regeling*

Een groot deel van de 70 miljoen euro ging naar bedrijven waarvan de bijdrage in vermeden primair en fossiel afnam in plaats van toenam. Gelet op de onderling grote verschillen tussen de ontvangen subsidie in relatie tot de geleverde prestaties was de regeling niet kostenefficiënt.

#### *Rechtvaardigheid van de regeling*

Ondanks dat AZN Moerdijk zelf geen elektriciteit levert (alle stoom wordt aan de naastgelegen STEG eenheid geleverd) ontving zij toch subsidie. SITA Roosendaal (levering warm water aan tuinder) kwam nooit in aanmerking voor enige terugsluizing. Omdat het niet tot herverdeling van de gelden op basis van de werkelijk geleverde prestaties is gekomen, was de regeling ook vanuit het oogpunt van "loon naar presteren" niet rechtvaardig.

Ter verklaring van de ondoelmatigheid van de regeling met betrekking tot de verbetering van het rendementen, is ter vaststelling van de directe oorzaken maar vooral ook de basisoorzaken een "Root Cause Analysis" (RCA) uitgevoerd (Gano, 2006). Zie Bijlage15 voor het oorzaak- en gevolgdigram.

Zoals uit het diagram blijkt zijn de directe oorzaken:

- Dat de doelstelling ook zonder financiële steun van de overheid zou zijn gehaald, **en**;
- Er desondanks 65 miljoen euro naar de sector ging.

De basisoorzaken met betrekking tot de aard van de REB-regeling waren:

- De doelstelling van het convenant volgens de eindevaluatie werd gehaald, **en**;
- Er geen afspraken over verbetering van de rendementen zijn gemaakt, **en**;
- De duur en omvang van de regeling waren niet aangepast aan de doorlooptijd respectievelijk kosten van maatregelen om werkelijk de efficiency te verbeteren, **en**;
- Met het convenant werd uitsluitend levering van (meer) elektrisch vermogen beloond.

De basisoorzaken met betrekking tot de aard en kenmerken van de sector:

- Maatregelen ter verbetering van het intrinsiek thermisch en elektrisch rendement voor bestaande installaties is zeer duur, **en**;
- Warmteprojecten (verhogen CHPR) zijn ook afhankelijk van omstandigheden (externe factoren en actoren) waarop tenminste de bestaande AVI's weinig of geen invloed hebben.

De basisoorzaken met betrekking tot de belangen van betrokken partijen:

- De betrokken partijen (ministeries van EZ, VROM en de AVI's) hadden ieder hun eigen belang bij het tot stand komen van het convenant, **en**;
- De staat achtte het politiek niet opportuun de conclusie van de eindevaluatie ter discussie te stellen. Niet bekend is of dit was ingegeven door politieke motieven (de regeling kon met de eindevaluatie als succes aan de Tweede Kamer worden verkocht) of door pragmatische motieven (inroepen van de bepaling in het convenant over terugvorderen zou juridisch een lastig en langdurig traject worden).

Samengevat was de ondoelmatigheid van de regeling het gevolg van een combinatie van factoren, gerelateerd aan:

- a) De aard van de regeling en de in het convenant overeengekomen voorwaarden, **en**;
- b) De kenmerken van de afvalverbranding met terugwinning van energie, **en**;
- c) De eigen belangen van alle betrokken partijen.

#### *Toepassing van het Intrinsiek thermisch en intrinsiek elektrisch rendement als criterium*

De intrinsieke rendementen zijn bruikbaar gebleken om de energieprestaties van de AVI's als zelfstandige installaties te onderzoeken. Uit de ontwikkeling van deze rendementen en de

CHPR kan de ontwikkeling van het totale of WKK-rendement worden geduid. De keuze om ter vaststelling van de rendementen de systeemgrenzen strak om de AVI's heen te leggen, is daarbij niet beperkend geweest.

#### *Vermeden primair of fossiel als criterium*

De volgens het monitoring protocol Duurzame Energie berekende hoeveelheid vermeden fossiele CO<sub>2</sub> ligt getalsmatig wel tussen de elders vermeden en de netto vermeden CO<sub>2</sub>, maar heeft als "gekunsteld getal" geen fysieke betekenis. In het streven naar een (meer) duurzame energiehuishouding is uiteindelijk reductie van de totale uitstoot aan fossiele CO<sub>2</sub> van belang. Voor inzicht in de ontwikkeling daarvan zou het voor de AVI's volstaan de totale, fossiele en niet fossiele CO<sub>2</sub> uitstoot in relatie tot het netto geleverd elektrisch en thermisch vermogen te rapporteren.

De elders vermeden CO<sub>2</sub> is een maat voor de totale hoeveelheid teruggewonnen en geleverde energie, ongeacht de samenstelling van het afval. De uitkomst is niet alleen afhankelijk van de kentallen voor de referenties, maar vooral ook van het intrinsiek thermisch rendement, het elektrisch rendement en de CHPR. Als criterium is de bijdrage relevant voor het beoordelen van (verbeter) maatregelen of nieuwe initiatieven.

De bijdrage in termen van elders vermeden CO<sub>2</sub> zegt echter niets over het klimaatverstorende effect van het verbranden van afval als zodanig. Het in paragraaf 4.4 gedefinieerde alternatief, de hoeveelheid vermeden fossiele CO<sub>2</sub>, is bruikbaar voor beoordeling van de doelmatigheid van de AVI's, ten opzichte van elkaar of van referenties. Een positieve bijdrage betekent echter niet dat een installatie CO<sub>2</sub>-neutraal is. Dat is uitgesloten zolang ook fossiele CO<sub>2</sub> wordt geëmitteerd.

## **5.8 Samenvatting en conclusies**

De doelstelling van het REB-convenant om de bijdrage van de AVI's uitgedrukt in vermeden primaire brandstof (in het kader van het convenant aangeduid als vermeden fossiel) ten opzichte van het referentiejaar 1997 met 5,3 pJ (23 %) te verhogen is gehaald, zij het niet in 2002 maar pas in 2005.

De doelstelling kon worden gerealiseerd door verhoging van het intrinsiek netto thermisch rendement, het intrinsiek netto elektrisch rendement, de CHPR of de afvaldoorzet. Uitgedrukt in vermeden primaire brandstof is de verbetering voor 90% bereikt door optimalisatie van de afvaldoorzet, de overige 10% is het resultaat van de verhoging van het intrinsiek elektrisch rendement bij twee van de elf AVI's. Voor de overige installaties is het intrinsiek thermisch en elektrisch rendement vrijwel gelijk gebleven. Omdat de warmtelevering achterbleef bij de ontwikkeling van de afvaldoorzet is de CHPR afgenomen van 0,12 (1997) naar 0,08 (2005).

De omvang van de terug ontvangen REB-gelden ligt tussen de 65 en 71 miljoen euro. Het exacte bedrag is niet bekend. Een verzoek van KEMA (opsteller eindevaluatie) aan de belastingdienst om gegevens over terug gesluisde bedragen werd om reden van vertrouwelijkheid niet ingewilligd (KEMA, 2002c).

Door de AVI's getroffen maatregelen kwamen ook in aanmerking voor investeringssubsidies of andere fiscale stimuleringsmaatregelen. Het totale bedrag daarvan was bij de evaluatie van het convenant niet bekend. Een verzoek van KEMA aan SenterNovem om gegevens daarover werd eveneens om reden van vertrouwelijkheid niet ingewilligd. Volgens dit onderzoek ging het voor de overige subsidies om circa 5 miljoen euro.

Voor de sector als geheel was de meeropbrengst uit de hogere afvaldoorzet zodanig dat de maatregelen (130 tot 140 miljoen euro) zich binnen een half jaar terug verdienden. Ook zonder REB-regeling zou de terugverdientijd minder dan een jaar zijn geweest. Twee AVI's hebben specifieke maatregelen ter verbetering van het intrinsiek elektrisch rendement genomen, AEB en ARN. Voor hun investeringen was de terugverdientijd ook zonder REB-gelden minder dan 5 jaar. Het is daarom zeer waarschijnlijk dat de doelstelling ook zonder het REB-convenant, de daaruit voortvloeiende gelden in het bijzonder, zou zijn behaald.

Indien we mogen aannemen dat wordt beslist zoals bij commercieel opererende bedrijven, zou de doelstelling namelijk vrijwel zeker ook zonder de financiële steun zijn behaald. Bovendien

heeft de regeling niet geleid tot een structurele verbetering van de intrinsieke rendementen. Vanuit het perspectief van de overheid is de conclusie daarom dat de REB-regeling voor de AVI's niet doelmatig, en niet efficiënt is geweest.

Tussen de AVI's bestond een groot verschil wat betreft de verhouding tussen de ontvangen subsidie en geleverde bijdrage aan de doelstelling. Tot een herverdeling van de ontvangen gelden binnen de sector is het echter niet gekomen. Vanuit het perspectief van de sector was de regeling, gelet op de grote verschillen in beloning voor geleverde prestaties, ook niet rechtvaardig.

In termen van vermeden fossiele brandstof of CO<sub>2</sub>, blijkt de prestatie sterk afhankelijk te zijn van de grondslag van de berekeningen. Voor de AVI's is de bijdrage uitgedrukt in vermeden primair of fossiel eigenlijk alleen toepasbaar ter vergelijking van uitvoeringsalternatieven. Dit omdat de "baseline" dan geen rol speelt.

Het convenant heeft niet geleid tot meer openheid of transparantie of met betrekking tot de energieprestaties. Door vier van de elf AVI's wordt in het financieel of milieujaarverslag het energierendement gerapporteerd, slechts drie daarvan geven ook inzicht in de grondslag van de berekening daarvan. Niet bekend is in hoeverre dit voortkomt uit het convenant of de in het kader daarvan genomen maatregelen. Er bestond en bestaat geen wettelijke verplichting, en in het convenant werden daarover geen afspraken gemaakt.

Geen van de bedrijven heeft de ontvangen gelden in het financieel- of milieujaarverslag vermeld of de besteding ervan verantwoord. Een wettelijke verplichting daaromtrent is er niet, op eigen initiatief gebeurt het kennelijk ook niet. Dit terwijl het in oorsprong toch publiek geld betreft.

De provinciale overheden (als bevoegd gezag Wet milieubeheer belast met het verlenen van de vergunningen en handhaving, waaronder beoordeling van de milieujaarverslagen) waren niet of niet formeel op de hoogte van de inhoud van het convenant, de op basis daarvan verkregen subsidies of voortgang in de uitvoering van de afspraken.

De basisoorzaken van het falen van de bijzondere regeling voor de AVI's zijn samengevat dat het ontwerp van de regeling noch de afspraken in het convenant, aansloten op de technische en bedrijfseconomische kenmerken van de sector. Dat toch een dergelijke overeenkomst werd gesloten, wordt verklaard door de belangen die de afzonderlijke partijen (ministeries van EZ, VROM en de sector) hadden bij het aangaan van een overeenkomst. Zie bijlage 15 voor het oorzaak- en gevolg diagram.

## **6 MEP-regeling voor de AVI's (evaluatie ex post)**

### **6.1 Inleiding**

In het hoofdstuk 5 is onderzocht in hoeverre de REB-regeling, het convenant in het bijzonder, heeft bijgedragen aan verbetering van de installatie-eigen rendementen van de bestaande AVI's. De taakstelling van 23 % meer energie uit afval bleek vrijwel geheel te zijn gerealiseerd door optimalisatie van de afvaldoorzet van de installaties. De installatie-eigen rendementen bleven voor de meeste installaties nagenoeg gelijk.

Op 1 juli 2003 is de REB-regeling voor producenten van duurzame energie vervangen door de MEP (Regeling van 6 juni 2003). Mits aan bepaalde randvoorwaarden werd voldaan, konden ook de AVI's ook voor de MEP-subsidie in aanmerking komen.

Doel van dit hoofdstuk is om vast te stellen in hoeverre de MEP-regeling heeft bijgedragen aan verbetering van het intrinsiek thermisch en intrinsiek elektrisch rendement van de AVI's (beantwoording onderzoeksvraag 4).

In paragraaf 2 wordt eerst de opzet en totstandkoming van de regeling voor de AVI's beschreven. Dit opdat de resultaten van de regeling (paragraaf 3 en 4) kunnen worden verklaard.

### **6.2 Opzet en contouren van de MEP-regeling.**

Het doel van de REB-regeling was een efficiënt gebruik van energie te stimuleren. In eerste instantie was groene stroom vrijgesteld van deze belasting. Buitenlandse producenten mochten vanwege EU-regels echter niet worden buitengesloten. Dit zorgde voor het weglekken van belastinggelden naar het buitenland. Op 1 juli 2003 is daarom de Regeling ter bevordering van de milieukwaliteit van de elektriciteitsproductie (MEP) van kracht geworden. In tegenstelling tot de REB-regeling is de MEP-regeling niet gebaseerd op de door de consument te betalen heffing, maar op de onrendabele top voor de productiebedrijven. Die onrendabele top zal per vorm van opwekking van duurzame energie door ECN en KEMA worden vastgesteld (ECN/KEMA, 2004).

De regeling geldt alleen voor productie installaties van duurzame elektriciteit of klimaatneutrale elektriciteit die na 1 januari 1996 in gebruik zijn genomen of sindsdien ingrijpend zijn gewijzigd.

De ondernemer die een duurzame installatie heeft neergezet, dient een aanvraag voor subsidie in bij EnerQ. EnerQ beoordeelt of de aanvraag in de regeling past en stelt een beschikking op waarmee voor een periode van maximaal 10 jaar gegarandeerd subsidie wordt verleend. De ondernemer ontvangt maandelijks een voorschot op basis van het aantal opgewekte kWh in de afgelopen maand. Het aantal kWh wordt gemeten door de netbeheerder in het gebied van de ondernemer. Deze gegevens worden vervolgens verzameld door CertiQ (een dochter van TenneT), die hiervoor een certificaat afgeeft. Op basis van dat certificaat kan EnerQ uitbetalen.

Van de AVI's kwamen alleen installaties in aanmerking met een netto elektrisch rendement van 26% of hoger en na 1996 in bedrijf waren genomen of ingrijpend waren gewijzigd<sup>29</sup>. Onder dat laatste werd aanvankelijk verstaan uitbreiding met tenminste een nieuwe verbrandingsoven met bijbehorende ketel en rookgasreiniginginstallatie.

Achtergrond van de rendementeis was om initiatieven op basis van wervelbedverbranding of vergassing uit te lokken. De opvatting was namelijk dat dergelijke installaties alleen materiaal afkomstig van voorbewerking (lees voorscheiding) konden verwerken, maar tevens hogere stoomtemperaturen mogelijk zouden maken. De regeling voorzag in een vaste vergoeding van € 0,029 per geleverde MWh elektrisch. Gelet op deze harde criteria kwam geen van de bestaande AVI's voor de nieuwe regeling in aanmerking.

---

<sup>29</sup> Regeling subsidiebedragen MEP 2005, Staatscourant 24 december 2003, nr. 249 / pag. 13.

Naar het oordeel van de sector is de regeling niet flexibel genoeg en wordt onvoldoende rekening gehouden met de feitelijke situatie in de sector. Dat wil zeggen dat net als bij de REB-regeling alleen levering van elektriciteit wordt beloond. Levering van (meer) warmte wordt met de regeling niet gestimuleerd. De sector zet daarom in op wijziging van de regeling (Vereniging van Afvalbedrijven (VA), 2004).

Nadat uit een tussenevaluatie blijkt dat bestaande installaties niet ingrijpend werden aangepast en nieuwe initiatieven niet van de grond kwamen ging de minister van Economische Zaken om voor de argumenten van de sector. Als na anderhalf jaar onderhandelen in het voorjaar van 2006 overeenstemming is bereikt wordt de regeling voor de AVI's aangepast (Ministerie van Economische Zaken, 2005c)

De voor de AVI's aangepaste MEP-regeling is op 1 juli 2006 van kracht geworden. Op verzoek van de sector is gekozen voor een gestaffelde subsidiëring, zodanig dat de subsidie hoger wordt naarmate het rendement stijgt. Bij een rendement van 22% netto is sprake van de minimale vergoeding, bij een rendement van 30% of hoger wordt het maximale bedrag per kWh (elektrisch) uitgekeerd. Het zogenaamde MEP-rendement is gelijk aan het netto elektrisch rendement, vermeerderd met tweederde van het netto thermisch rendement. Alleen buiten de eigen installatie nuttig aangewende elektriciteit en warmte mogen worden meegeteld. De subsidie wordt in beginsel voor een periode van 10 jaar verstrekt.

Ook nu komen de AVI's alleen in aanmerking indien de installatie na 1996 in bedrijf was genomen of na een ingrijpende wijziging. Alleen installaties waarvoor de vergunningprocedure reeds liep konden MEP-subsidie aanvragen. De definitieve beschikking volgde nadat alle benodigde milieu- en bouwvergunningen waren verleend. Uit te keren bedragen worden op basis van per maand gerealiseerde rendement en netto geleverd elektrisch vermogen vastgesteld.

Volgens de Minister was Nederland op schema met het invoeren van duurzame energie en waren extra stimuleringsmaatregelen in zijn ogen niet meer nodig. De regeling liep budgettair echter uit de hand (Algemene Rekenkamer, 2007b). Sinds het van kracht worden van de MEP-regeling waren er medio 2006 al meer dan 6800 aanvragen ingediend. Alleen al in 2005 werd ruim 532 miljoen euro aan MEP-subsidie uitgekeerd, waarvan 280 miljoen voor de productie van energie uit biomassa en 139 miljoen euro voor de opwekking van windenergie (Raedthuys & Partners, 2006). En om verdere budgettaire problemen te voorkomen zet de Minister op 18 augustus 2006 alle bedragen op nul. Dit tot verbazing van de AVI's die twee maanden daarvoor aanpassing van de regeling had bereikt<sup>30</sup>. Reeds verleende beschikkingen, dat wil zeggen toegekende subsidies voor een periode van maximaal 10 jaar, zullen door de overheid worden nagekomen.

De uitvoering van de MEP-regeling die oorspronkelijk bij EnergQ<sup>31</sup> lag, is op 1 januari 2009 overgegaan naar SenterNovem, het agentschap van het ministerie Economische Zaken. Uitkering van de subsidies vindt plaats op basis van de door CertiQ afgegeven garanties van oorsprong (GVO) en het maandelijks vastgestelde rendement. Voor het verkrijgen van de GVO moet het bedrijf conform het door CertiQ goedgekeurde protocol maandelijks een meetrapport indienen.

### **6.3 Toekenning van MEP-subsidie aan de AVI's**

Wat betreft de AVI's is MEP-subsidie aangevraagd voor zowel (bestaande en nieuwe) installaties voor het integraal verbranden van huishoudelijk en bedrijfsafval, als voor de zogenaamde biomassa energiecentrales. Het verschil met een gewone AVI is dat een biomassa energiecentrale (BEC) uitsluitend bedoeld is voor het opwekken van elektriciteit uit (naar aard) zuivere biomassa.

---

<sup>30</sup> <http://www.twence.nl/actueel/dossiers/Triade/De%20MEP.doc/>

<sup>31</sup> EnerQ is een dochterorganisatie van TenneT, de beheerder van het landelijk hoogspanningsnet.

## **Afvalverbrandingsinstallaties**

Niet alle installaties waarvoor MEP-subsidie werd aangevraagd kwamen daarvoor ook in aanmerking. Installaties die wel voor de subsidie in aanmerking kwamen waren:

- Twence Hengelo  
Deze in 1997 in bedrijf genomen AVI (2 lijnen, opgesteld vermogen 25 MWe) voldeed aan de criteria van de aangepaste MEP-regeling. De periode waarvoor de verleende beschikking geldt, begint op 24 juni 1997 (opstart van de installatie) en eindigt op 22 december 2012.
- AZN Moerdijk; drie bestaande verbrandingslijnen  
Eind 2003 heeft AZN voor haar in 1997 in bedrijf genomen AVI (drie verbrandingslijnen) MEP-subsidie aangevraagd. De aanvraag werd echter afgewezen op grond van het feit dat AZN zelf geen elektriciteit opwekt. Omdat de STEG eenheid waaraan AZN haar stoom levert geen AVI is, kwam ook die installatie niet voor de MEP-subsidie in aanmerking.

Nadat in 2006 de regeling werd veranderd, is opnieuw subsidie aangevraagd. In de daarop verleende beschikking is als begindatum 14 november 1996 (opstart AVI) aangehouden, en als einddatum 13 november 2006. De beschikking is verleend op basis van een opgesteld elektrisch vermogen van 78 MW. Daarmee zou ruim drie jaar MEP-subsidie zijn ontvangen: van 1 juli 2003 tot 1 juli 2006 de vaste vergoeding van € 0,029 per kWh en daarna nog een aantal maanden het gestaffelde tarief.

Niet bekend is of AZN ook werkelijk aanspraak kon maken op de oude MEP-subsidie, dat wil zeggen de regeling die tot 1 juli 2006 van kracht was. Een verzoek om informatie over de verleende beschikkingen is door SenterNovem geweigerd (zie paragraaf 6.5.2).

- AVR Afvalverwerking Duiven: bestaande lijn 2  
Oorspronkelijk had verbrandingslijn 2 van AVR Afvalverwerking Duiven geen ketel voor terugwinning van energie. De verbrandingswarmte werd door middel van inspuitskoeling weg gekoeld. Sinds 1997 is deze verbrandingslijn voorzien van een stoomketel en een aparte turbine. Ten behoeve van een te realiseren installatie voor mestverwerking en ter aanvulling op de warmtelevering middels de heetwaterketel op lijn 3, is de condenserende turbine van lijn 2 voorzien van een aftap voor lage druk stoom.

Omdat de ketel en turbine van lijn 2 na 1996 in gebruik zijn genomen en het elektrisch vermogen van de AVI met meer dan 30% toenam, kon aan de installatie MEP-subsidie worden toegekend. Als datum voor aanvang van de periode waarover subsidie kan worden uitgekeerd zou in de beschikking niet 13 juni 1997 (in bedrijf nemen turbine) maar 1 juli 2007 zijn aangehouden. De subsidie loopt af op 13 december 2010.

- AEB HR-AVI  
De eind 2006 in bedrijf genomen HR-AVI van het afvalenergiebedrijf (2 lijnen) komt voor een periode van 10 jaar in aanmerking voor de MEP-subsidie. De formele start van de bouw was op 18 oktober 2003. Met deze twee verbrandingslijnen geproduceerde stoom wordt in een (nieuwe) aparte turbine omgezet in elektrisch vermogen. De HR-AVI is daarom als een nieuwe installatie aangemerkt. Dit in tegenstelling tot de vierde lijn van HVC. De periode waarover subsidie wordt verleend loopt van 1 augustus 2007 (einde proefbedrijf) tot en met 31 juli 2017.

Installaties die niet voor de regeling in aanmerking kwamen waren:

- HVC Alkmaar: 4<sup>e</sup> verbrandingslijn  
Eind 2004 heeft HVC een vierde verbrandingslijn in gebruik genomen. Met de nieuwe lijn geproduceerde stoom wordt voor een deel ingezet voor benutting van de capaciteit van de reeds bestaande turbine (capaciteit maximaal 56,9 MWe), het resterende deel werd afgewerkt in een nieuwe kleinere turbine met een capaciteit van maximaal 13,3 MWe.

Volgens HVC nam het opgewekt vermogen met de vierde lijn toe van 42,3 MWe tot maximaal 64 MWe (vullast), ofwel een uitbreiding van 52%. Volgens het ministerie van Economische Zaken was echter sprake van uitbreiding met 13,3 MWe (capaciteit van de

nieuwe generator) ofwel 23,4 %. Nadat HVC de zaak aan het college van beroep voor het bedrijfsleven had voorgelegd, is het ministerie van EZ begin 1996 in het gelijk gesteld. HVC Alkmaar kwam definitief niet in aanmerking voor de MEP-subsidie.

- AZN: vierde verbrandingslijn  
Nadat eind 2006 de milieu- en bouwvergunning waren verleend heeft AZN Moerdijk voor haar nieuw te bouwen 4<sup>e</sup> verbrandingslijn MEP-subsidie aangevraagd. Omdat de bedragen inmiddels op nul waren gezet is voor deze installatie een "nul"-beschikking verleend, net als bij Twence Hengelo. Het project en de aanvraag om subsidie voldeden dus aan de criteria, maar effectief wordt voor deze in oktober 2008 in bedrijf genomen installatie geen subsidie ontvangen.

## 6.4 Uitvoering en resultaten van de regeling voor de AVI's

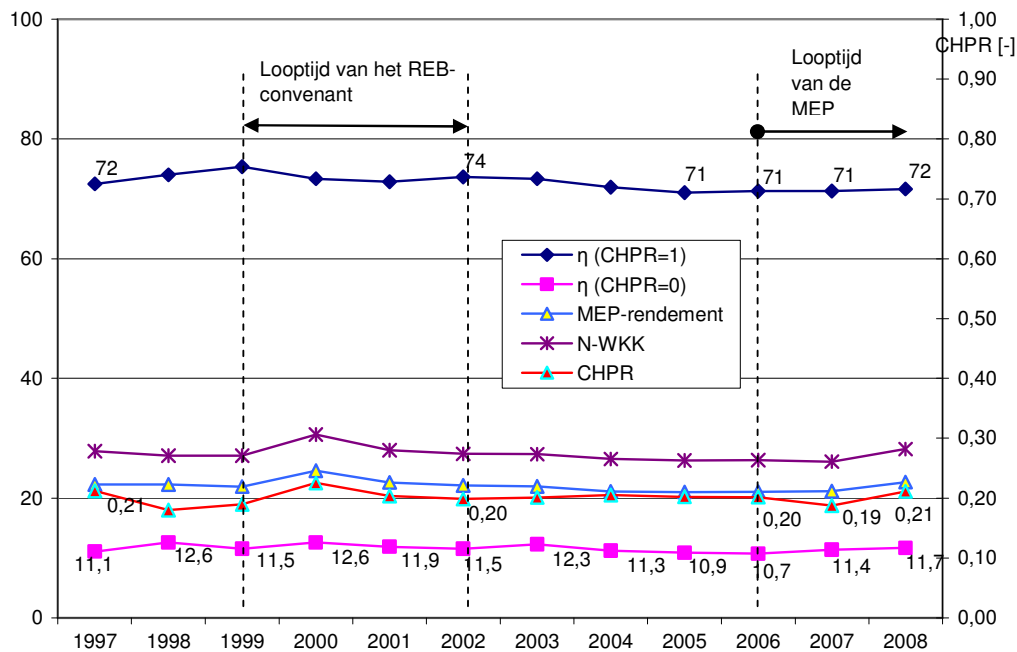
De AVI's die voor MEP-subsidie in aanmerking kwamen zijn:

- AVR Duiven: lijn 2 (opgesteld vermogen 9 MWe)
- AZN Moerdijk: lijn 1 t/m 3 (opgesteld vermogen 78 MWe)
- AEB Amsterdam: HR-AVI (opgesteld vermogen 74 MWe)
- Twence Hengelo: lijn 1 en 2 (opgesteld vermogen 24,5 MWe)

### 6.4.1 AVR Duiven: lijn 2

*Ontwikkeling van het intrinsiek thermisch en elektrisch rendement*

Omdat over de prestaties van lijn 2 geen gegevens beschikbaar zijn, wordt hier de ontwikkeling van het rendement van de gehele AVI beschouwd. In figuur 6.1 is de ontwikkeling van het intrinsiek netto thermisch en netto elektrisch rendement tot en met 2008 weergegeven.



Figuur 6.1 Ontwikkeling van intrinsieke rendementen AVR Duiven (lijn 1 t/m 3)

Uit figuur 6.1 blijkt dat het intrinsiek elektrisch en het thermisch rendement niet zijn gestegen. Voor zover bekend zijn of worden daartoe ook geen maatregelen genomen. Het MEP-rendement en het WKK-rendement lopen daarom gelijk op met de CHPR.

*Omvang van de MEP-subsidie*

Het exacte MEP-rendement en het met lijn netto 2 geleverd elektrisch vermogen zijn niet bekend. Uitgaande van een netto levering van 42 GWh per jaar, MEP-rendement van 30 % en biomassa aandeel van 48%, had het bedrijf in totaal 2,5 miljoen euro aan MEP-subsidie

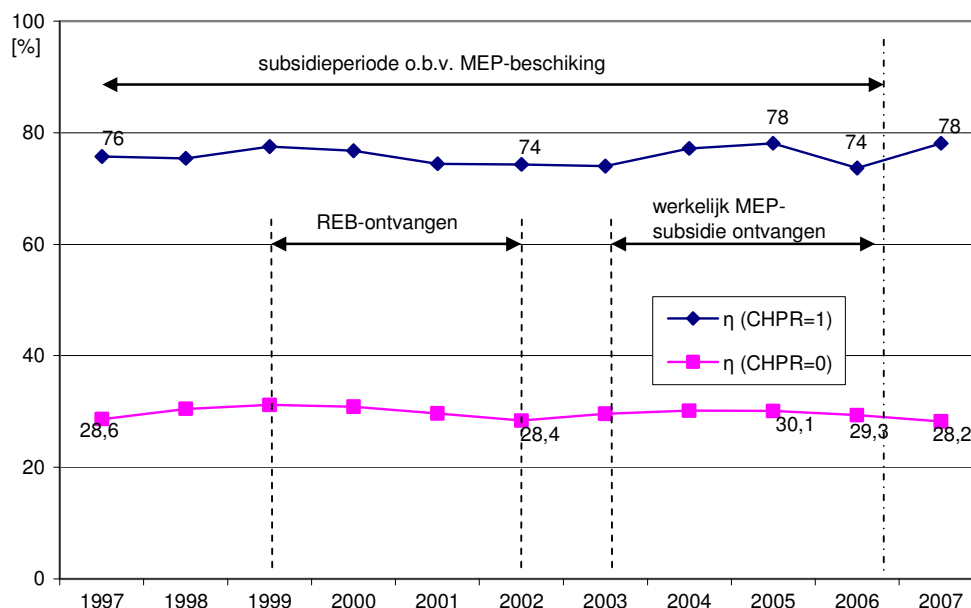
kunnen claimen. De MEP-beschikking is verleend voor een bedrag van maximaal 1,8 miljoen euro.

Anno 2009 zou aan het bedrijf nog geen subsidie zijn uitgekeerd. SenterNovem, de instelling die de garanties van oorsprong afgeeft, verlangt ter validatie van de middels de indirecte methode vastgestelde ketelrendement, sorteerprouven om de calorische waarde van het afval te valideren. De uitkomst van die proeven zijn begin 2009 aan SenterNovem gerapporteerd. Eerst na goedkeuring van die rapportage door SenterNovem zullen de GVO's worden verstrekt.

#### 6.4.2 AZN Moerdijk: lijn 1 t/m 3

##### *Ontwikkeling van het intrinsiek thermisch en elektrisch rendement*

Figuur 6.2 geeft de ontwikkeling weer van het intrinsiek netto “elektrisch” rendement van de verbrandingslijnen 1 t/m 3.



Figuur 6.2 Ontwikkeling van intrinsieke rendementen AZN Moerdijk (lijn 1 t/m 3)

Uit figuur 6.2 blijkt dat het intrinsiek netto “elektrisch” rendement van de AVI gedurende de periode waarover MEP-subsidie zou zijn ontvangen, niet is toegenomen. Voor zover bekend zijn daartoe ook geen maatregelen genomen.

##### *Omvang van de MEP-subsidie*

De MEP-beschikking is verleend voor maximaal 24 miljoen euro. Op basis van de oude MEP-vergoeding van € 29 per MWh en een netto levering van 520 GWh per jaar waarvan 48% voor GVO in aanmerking kwam, zou ook ongeveer 24 miljoen euro MEP-subsidie zijn ontvangen.

#### 6.4.3 Afval energiebedrijf: HR-AVI

In tegenstelling tot AVR- Duiven en AZN betreft het hier een nieuwe installatie die ten tijde van het verkrijgen van de subsidiebeschikking nog in bedrijf gesteld moest worden.

##### *Ontwikkeling van het intrinsiek elektrisch en thermisch rendement*

De HR-AVI van het afvalenergiebedrijf is een nieuwe installatie met een intrinsiek thermisch ontwerprendement van 79% een intrinsiek elektrisch ontwerprendement van 30% netto (AEB, 2006).

De HR-AVI heeft in 2007 met verlaagde stoomparameters een netto elektrisch rendement van 26% gehaald. Als gevolg van technische problemen met de generator kon tussen februari en oktober 2008 helemaal geen elektriciteit worden opgewekt. Sinds oktober 2008 is de installatie weer normaal in bedrijf (Afval Energie Bedrijf, 2008). Omdat over de periode erna geen



gegevens beschikbaar zijn is niet bekend of het elektrisch rendement van 30% netto al is gehaald. In tabel 6.1 zijn de tot op heden bekende bedrijfsrendementen weergegeven.

Tabel 6.1 Ontwikkeling rendementen HR-AVI van het Afval energie bedrijf

Installatie eigen rendement	ontwerp	Praktijk		
		2007	2008	2009
Ketelrendement	87%	n.b.	n.b.	n.b.
Intrinsiek bruto thermisch rendement (CHPR=1)	83%	n.b.	n.b.	n.b.
Intrinsiek netto thermisch rendement (CHPR=1)	79%	n.b.	n.b.	n.b.
Intrinsiek bruto elektrisch rendement (CHPR=0)	34%	30%	31%	n.b.
Intrinsiek netto elektrisch rendement (CHPR=0)	30%	26%	17%	n.b.

Legenda: n.b. = niet bekend

#### *Omvang van de MEP-subsidie*

De MEP beschikking is verleend voor maximaal 72 miljoen euro. Uitgaande van het intrinsiek elektrisch ontwerp rendement van 30% netto (€ 38/MWh), levering van 420 GWh per jaar, een aandeel biomassa in het afval van 48% en de looptijd van de subsidie van 10 jaar, zou in totaal 76 miljoen euro aan MEP-subsidie kunnen worden ontvangen.

Als gevolg van de technische problemen in 2008 en het feit dat dit ook in 2009 doorwerkt in het 12-maands voortschrijdend gemiddelde rendement zal uiteindelijk over minder dan 10 jaar subsidie worden ontvangen. Indien de resterende periode van 8 jaar het maximale bedrag per kWh wordt ontvangen, dan komt de totale subsidie uit op circa 61 miljoen euro.

#### *Overige subsidies*

Door het ministerie van VROM is voor de HR-AVI een 'groenverklaring' afgegeven, waardoor financiering tegen lagere kosten mogelijk is. Gegeven de investering van 338 miljoen euro zou de jaarlijks besparing € 780.000 bedragen (AEB, 2005). Bij aflossing in 15 jaar bedraagt het totale voordeel daarvan circa 12 miljoen euro (Ringeling, Westerveld & Hebly, 2007a).

Verder leverde de Provincie Noord-Holland een bijdrage van 2,9 miljoen euro vanuit haar CO2-reductieplan (Afval online, 21 juni 2005). Ten slotte is vanuit het vijfde kaderprogramma van de Europese Unie (EU) een subsidie van 1,6 miljoen euro verleend (Afval Energie bedrijf, 2006; Ringeling, Westerveld & Hebly, 2007a).

#### 6.4.4 AVI Twente BV: lijn 1 en 2

##### *Ontwikkeling van het intrinsiek thermisch en elektrisch rendement*

Zoals reeds bij de evaluatie van de REB-regeling (hoofdstuk 5) bleek, bedraagt het netto elektrisch rendement van de AVI 17 á 18 %. Verhogen van het intrinsiek thermisch en elektrisch rendement tot minimaal 22% is gelet op het feit dat het een bestaande doch relatief jonge installatie betreft technisch en financieel niet haalbaar. Voor zover bekend zijn daartoe ook geen specifieke maatregelen getroffen.

##### *Omvang van de ontvangen MEP-subsidie*

Het bedrijf onderzoekt de mogelijkheden voor afzet van warmte maar omdat anno 2009 nog geen levering plaatsvindt wordt het minimaal vereiste MEP-rendement voor het verkrijgen van subsidie (22 % netto) niet gehaald. Het is daarom vrijwel zeker dat de AVI tot op heden geen MEP-subsidie heeft ontvangen. Als op termijn nog warmte levering zou plaatsvinden, uiterlijk 2012 dan zou op basis van de MEP-beschikking maximaal € 110.259 aan subsidie kunnen worden verkregen. Een minimaal bedrag voor een dergelijke investering.

Omdat nog geen maatregelen ter verhoging van de intrinsiek thermisch of elektrisch rendement zijn getroffen zodat het MEP-rendement boven de 22% komt, is nog geen subsidie ontvangen. Gelet op dit reeds zeer ambitieuze ontwerp is het voor deze installatie van belang deze met het ontwerp beoogde rendementen in de praktijk waar te maken. Dat geldt voor het elektrisch rendement in het bijzonder. Verdere verbetering van het intrinsiek thermisch of elektrisch rendement is daarom niet aan de orde.

## 6.5 Bevindingen en discussie

### 6.5.1 Bevindingen met betrekking tot de MEP-regeling voor de AVI's

#### Perceptie van de situatie en doelstelling van de regeling voor de AVI's

Na afloop van het REB-convenant moesten ook de AVI's voor een nieuwe regeling aan aanmerking komen. In tegenstelling tot het REB-convenant werd met de MEP-regeling aanvankelijk aangestuurd op een zo hoog mogelijk elektrisch rendement. Bestaande AVI's werden bij voorbaat van de regeling uitgesloten, maar het minimaal vereiste elektrisch rendement van 26% netto was ook voor nieuwe installaties moeilijk haalbaar.

Met de aanpassing van de regeling, het introduceren van een gestaffeld tarief in het bijzonder, kwamen kennelijk ook reeds gerealiseerde of in uitvoering zijnde projecten voor de subsidie in aanmerking. Als een installatie voor MEP-subsidie in aanmerking kwam betekende levering van (meer) warmte minder subsidie. Dit gold nog sterker voor installaties met een hoog intrinsiek elektrisch rendement.

#### Uitgekeerde bedragen

De nieuw te bouwen HR-AVI van het AEB kwam direct voor MEP-subsidie in aanmerking. Voor deze installatie bedraagt de maximaal te verkrijgen subsidie 71,6 miljoen euro. Met het vervallen van de minimumeis voor het elektrisch rendement, konden ook drie reeds bestaande installaties subsidie krijgen. De precieze omvang van de subsidie is (nog) niet bekend maar bedraagt maximaal 0,2 miljoen (Twence) + 1,8 miljoen (AVR) + 24,4 miljoen (AZN) = 26,4 miljoen euro. De totaal uit te keren MEP-subsidie bedraagt daarmee 98 miljoen euro.

#### Beschikbaarheid van gegevens

Van die drie installaties levert alleen AVR Duiven warmte, zodat daarvoor ook het intrinsiek netto thermisch rendement relevant is. Net als bij de evaluatie van het REB-convenant geldt dat de met de aannames een mogelijke fout wordt geïntroduceerd (zie bijlage 21). De mogelijke fout als gevolg van de aanname voor de stoomtemperatuur en het eigen verbruik aan warmte 3,6%-punt voor het ketelrendement en 3,4%-punt voor het thermisch rendement.

Voor AZN is alleen het intrinsiek netto elektrisch rendement van belang. Alle benodigde gegevens waren bekend, zodat voor de berekening daarvan geen aannames hoefden te worden gedaan. Daarvoor geldt de marge van betrouwbaarheid van 0,4%-punt. Dat geldt ook voor het AEB, zij het daar nog geen representatieve bedrijfsrendement beschikbaar zijn.

Gelet op het betrouwbaarheidsinterval doet de met de aannames geïntroduceerde marge van onzekerheid, niets af aan de conclusie met betrekking tot de ontwikkeling van het intrinsiek thermisch en elektrisch rendement van de installaties.

#### Doelmatigheid van de MEP-regeling voor de reeds bestaande AVI's

Wat betreft AVR Duiven, AZN Moerdijk en Twence Hengelo zijn het intrinsiek thermisch rendement, intrinsiek elektrisch rendement of de CHPR niet toegenomen. Voor zover bekend hebben zij daartoe ook geen maatregelen genomen, in ieder geval niet naar aanleiding van of om reden van de MEP-subsidie. Indien in het verleden al maatregelen waren genomen, is voor deze installaties dan ook sprake van beloning achteraf.

#### Doelmatigheid van de MEP-regeling voor de nieuw te realiseren HR-AVI

Ondanks dat in juli 2002 het moratorium werd opgeheven koos AEB bewust voor het concept van de HR-AVI. Het bedrijf wilde zo invulling geven aan haar missie: het afval zo milieuvriendelijk, efficiënt en goedkoop mogelijk te verbranden. Bovendien zou voor de HR-AVI subsidie worden verworven (Ringeling, Westerveld & Hebly, 2005b). De intenties van het bedrijf blijken ook uit de reactie van het bedrijf op de concept MEP-regeling. In haar brief van 22 maart 2003 aan de Minister van Economische Zaken pleit het bedrijf voor een fysieke onderbouwde waardering van geleverde warmte (Afval Energie Bedrijf, 2003). Ondanks haar voornemen tot realisatie van de HR-AVI, een installatie met een hoog elektrisch rendement, blijft AEB het belang van een doelmatige warmtelevering door de AVI's benadrukken.

Ten tijde van het in werking treden van de MEP-regeling (1 juli 2003) waren de m.e.r. en vergunning-procedures doorlopen, maar de formele gunning van de contracten vond plaats in december 2003, dus na het van kracht worden van de MEP-regeling. Het is daarom onduidelijk

of de HR-AVI ook zonder MEP-subsidie zou zijn gerealiseerd. Wel staat vast dat ten tijde van besluitvorming en aanvang bouw, de oude MEP een vergoeding van € 29 per MWh gold. Na herziening van de MEP-regeling (1 juli 2006) kwam de AVI in aanmerking voor een vergoeding van € 38 per MWh. Wat betreft het verschil, over de gehele looptijd bezien 18 miljoen euro, is daarom in ieder geval sprake van beloning achteraf.

Van het maximaal aan de AVI's uit te keren bedrag van 98 miljoen euro is voor  $26 + 18 = 44$  miljoen euro ofwel 45% sprake van beloning achteraf.

MEP-subsidie leidt mogelijk tot suboptimalisatie van de energie-efficiency.

Voor AVR Duiven is het, gelet op de staffel in bedragen, van belang een zo hoog mogelijk MEP-rendement voor haar verbrandingslijn 2 na te streven. Dit kan door, ten behoeve van de levering van stadswarmte, lage druk stoom van de turbine van lijn 2 af te tappen. Ook indien met de heetwater ketel van lijn 3 reeds aan de vraag kan worden voldaan. Een door financiële motieven (MEP-subsidie) ingegeven optimalisatie van lijn 2 kan daardoor resulteren in suboptimalisatie van het energierendement van lijn 3 en daarmee van het rendement van de gehele AVI<sup>32</sup>.

De oorzaak hiervan is dat zowel de aanvraag, de beoordeling daarvan als de maandelijkse rapportages betrekking hebben op het presteren van lijn 2, zonder te letten op de context daarvan, i.c. het presteren van de gehele AVI.

Het is overigens niet duidelijk of ook werkelijk van suboptimalisatie sprake was, aangezien inzicht in de stoom- en heetwater balans van de deelsystemen over de afgelopen jaren ontbreekt. Uit de ontwikkeling van het intrinsiek thermisch- en elektrisch rendement van de gehele AVI (figuur 6.2) blijkt dit vooralsnog niet.

Levering van warmte werd met oorspronkelijke MEP-regeling niet beloond

Zoals in paragraaf 6.2 beschreven ging de MEP-regeling aanvankelijk uit van een elektrisch rendement van tenminste 26% netto. Het moratorium op roosteroven capaciteit was dan wel afgeschaft, maar kennelijk wilde het ministerie van VROM via de MEP-regeling alsnog invloed op de technologiekeuze van de bedrijven hebben. Daarmee werd warmtelevering echter om twee redenen ontmoedigd:

1. Geen van de bestaande installaties, AZN uitgezonderd<sup>33</sup>, voldeed aan deze eis.
2. Nieuw te realiseren (stand-alone) installaties zouden zonder warmtelevering net aan de eis kunnen voldoen. Met levering van warmte zou het elektrisch rendement echter weer onder de minimumeis uitkomen.
3. Net als bij de REB-regeling wordt alleen levering van elektriciteit beloond. Zolang het geen restwarmte betreft gaat warmtelevering altijd ten koste van het geproduceerd elektrisch vermogen en daarmee ook van de subsidie.

Met de herziening van de MEP-regeling op 1 juli 2006 werd probleem in die zin opgelost dat warmtelevering voortaan meetelde in het rendement. Het tweede probleem bleef echter bestaan. Reden daarvan zou er in liggen dat de MEP-regeling uitsluitend op productie van duurzame elektriciteit is gericht en niet op warmte. Impliciet wordt dit gecompenseerd door de staffel in de vergoeding per kWh. Desondanks kende ook de herziene regeling bezwaren:

1. Indien bedoeld om de totale omvang van de warmtelevering te verhogen, gaat de staffel in de vergoeding voorbij aan het feit dat bij warmteprojecten juist de eerste GJ de duurste zijn. Ligt de infrastructuur er eenmaal dan hoeft (beperkt) vergroten van de levering niet altijd met nieuwe investeringen gepaard te gaan. Er van uitgaande dat ook voor geleverde thermische energie een reële vergoeding wordt ontvangen, zou de staffel eerder omgekeerd moeten verlopen. Dat wil zeggen: een hoge subsidie ter bevordering van het realiseren van de eerste levering c.q. infrastructuur, een lagere vergoeding bij verdere benutting van de gerealiseerde capaciteit.
2. Ook bij de herziene MEP-regeling voor de AVI's werd het MEP-rendement bepaald op basis van een vaste kwaliteitsfactor voor de geleverde warmte in plaats van de exergie. Dit

---

<sup>32</sup> Een eventueel overschot aan heet water op lijn 3 wordt gebruikt voor productie van lage druk stoom, die in de lage druk trap van turbine generator 2 kan worden afgewerkt. Het rendement van die route is echter lager dan wanneer eerst alle heet water van lijn 3 voor levering van warmte was aangewend en alle stoom van lijn 2 voor de productie van elektriciteit.

<sup>33</sup> De aanvraag van AZN werd uiteindelijk afgewezen omdat zij zelf geen elektriciteit opwekten en de naastgelegen STEG geen AVI was

ondanks het pleidooi van het AEB. Gelet op de hoogte van de factor is, fysisch gezien altijd sprake van een overschatting van de kwaliteit van de geleverde warmte.

#### Periode waarover MEP-subsidie werd toegekend

De MEP-subsidie werd in principe voor een periode van 10 jaar verstrekt. Voor de bestaande installaties is het moment van in bedrijf nemen als datum van aanvang voor de MEP-regeling aangehouden. Exact 10 jaar later eindigt de subsidie. In de beschikkingen van Twence Hengelo en AVR Duiven is echter niet een periode van 10 maar van 13 en een half jaar aangehouden.

Navraag daarover bij SenterNovem leerde dat de door de AVI's ingediende aanvragen destijds door CertiQ zijn beoordeeld, zij hebben ook de beschikkingen verleend. De uitvoering is daarna over gegaan naar SenterNovem. Zij geven aan geen verklaring voor de in de verleende beschikkingen gekozen periode te hebben.

Overigens: door de periode van 10 jaar te laten beginnen op de datum van in bedrijf nemen van de installaties, is de maximaal te verlenen subsidie beperkt. Immers, pas na vaststelling van de bedragen, dus niet eerder dan na het van kracht worden van de MEP-regeling is de werkelijk subsidie verstrekt. Dit steunt de veronderstelling dat de verstrekker van de subsidie beseftte dat sprake was van een beloning achteraf.

#### Toekenning van de MEP-subsidie voor reeds gerealiseerde projecten

De toekenning van subsidies roept een aantal vragen op. Zo werd de aanvraag voor HVC afgewezen omdat met de uitbreiding met de derde lijn niet werd voldaan aan het criterium van 'ingrijpende wijziging'. Een reeds in 1997 gerealiseerd project kwam (AVR Duiven) of in bedrijf genomen AVI's (Twence Hengelo, AZN Moerdijk) voldeden net wel aan de formele eisen om voor MEP-regeling in aanmerking te komen. Er van uit gaande dat de drie reeds gerealiseerde projecten onbedoeld voor MEP-regeling in aanmerking kwamen, kwam dit doordat ze op basis van de formele criteria niet konden worden uitgesloten. Bovendien kon met de herziening in ieder geval één installatie (AZN Moerdijk) met terugwerkende kracht een beroep doen op de MEP-regeling voor de AVI's.

Het feit dat de drie reeds gerealiseerde projecten met terugwerkende kracht voor MEP-subsidie in aanmerking kwamen, is zeer waarschijnlijk het gevolg van onbedoelde juridische 'weeffouten' bij de herziening in 2006 van de MEP voor de AVI's.

#### MEP-regeling voor de Biomassa energiecentrales

Met het oog op de MEP-subsidie zijn sinds 2006 drie zogenaamde biomassa energiecentrales gerealiseerd. Deze installaties, bedoeld voor het opwekken van elektriciteit uit (naar aard) zuivere biomassa, zijn uitsluitend om reden van de MEP-subsidie gerealiseerd. In totaal zal voor deze drie installaties circa 460 miljoen euro aan subsidie worden uitgekeerd (zie bijlage 13 voor de detail uitwerking).

### 6.5.2 Overige bevindingen

#### Meerdere subsidies per project

Zeker de HR-AVI van het Afvalenergiebedrijf kwam voor verschillende subsidieregelingen in aanmerking. Regelingen die door verschillende overheden worden uitgevoerd. Onduidelijk is in hoeverre tussen de uitvoeringsorganisaties afstemming plaatsvond over verstrekte subsidies en de daaraan verbonden voorwaarden.

#### Moeizame verwerving informatie over verstrekte subsidies

Ten behoeve van dit onderzoek was inzicht vereist in de verleende MEP-subsidie alsmede de voorwaarden waaronder die zou worden uitgekeerd. Omdat de bedrijven daarover zelf niet rapporteren in bijvoorbeeld hun financieel of milieujaarverslag en die informatie ook niet wilden geven, is de informatie bij SenterNovem opgevraagd. Omdat de gevraagde informatie niet zonder meer werd verstrekt, zijn twee verzoeken met beroep op de Wet openbaarheid van bestuur (WOB) ingediend. Aanvankelijk werd geen reactie ontvangen. Pas na een verzoek om een schriftelijke bevestiging van de weigering met juridische motivatie daarvan, is een deel van de gevraagde informatie verstrekt:

- Een overzicht van de bedrijven die een positieve beschikking op hun aanvraag voor MEP-subsidie of haar opvolger de SDE-regeling (Hoofdstuk 7) hebben ontvangen;
- De hoogte van de per bedrijf maximaal toegekende subsidie.

Een afschrift van de beschikkingen alsmede tot op heden verstrekte garanties van oorsprong c.q. uitgekeerde bedragen is tot op heden niet ontvangen. Een formele weigering evenmin. De informatie over de start- en einddatum van de toegekende subsidies is daarom gebaseerd op informele, niet objectief toetsbare, bronnen. Dit doet niets af aan de bevindingen en conclusies met betrekking tot de met dit hoofdstuk te beantwoorden onderzoeksvraag.

Relevant is hier de vaststelling dat SenterNovem, een agentschap van het ministerie van Economische Zaken, kennelijk moeite heeft met het afgeven van informatie over toegekende en uitgekeerde subsidies of de voorwaarden waaronder dit geschiedt. Dit is om twee redenen opmerkelijk. Ten eerste betreft het besteding van publiek geld, ten tweede gaat het bij subsidiebeschikkingen om formele overheidsbesluiten die voor bezwaar en beroep vatbaar moeten zijn.

#### *Uitvoering van de regeling*

Ter uitvoering van de regeling moeten de bedrijven volgens vooraf door SenterNovem goedgekeurde methode het energierendement bepalen. De AVI's hebben ten behoeve van de handel in emissierechten voor NOx al een door de Nea gevalideerd monitoring protocol moeten opstellen. Centraal daarin staat wijze waarop de totale brandstof input wordt bepaald. Met het oog op vermindering van de administratieve lasten is het wenselijk dat bedrijven kunnen volstaan met één protocol of hun protocollen in ieder geval door één instantie kunnen laten beschikken.

Verder is de subsidie gekoppeld aan de GVO's. Die worden toegekend op basis van een jaarlijks vast te stellen gehalte biomassa in het (huishoudelijk) afval. Daartoe wordt in opdracht van SenterNovem jaarlijks wel ergens een sorteerproef gedaan. Het is ook mogelijk om de verhouding tussen fossiele en biogene energie uit afval on-line te bepalen (Fellner, Cencic & Rechberger, 2007).

#### *Rapportage over en verantwoording van ontvangen subsidies*

Het doel van de MEP-regeling was het verhogen van de energieprestaties van de AVI's. Slechts enkele bedrijven geven in het milieujarverslag inzicht in de energiebalans, de ontwikkeling van het energierendement, het MEP-rendement of ter verbetering daarvan genomen maatregelen.

Vastgesteld is dat geen enkel bedrijf ontvangen (milieu)subsidies in het financieel of milieu - jaarverslag rapporteert en de besteding daarvan verantwoordt. De bedrijven zelf hebben er kennelijk geen belang bij, een wettelijke verplichting daartoe ontbreekt.

## **6.6 Samenvatting en conclusies**

#### *Naar aanleiding van de bevindingen voor de AVI's*

De MEP-regeling heeft voor de reeds bestaande AVI's niet geleid tot verbetering van het intrinsiek thermisch rendement, het intrinsiek elektrisch rendement of levering van meer warmte.

Daar liggen volgende directe oorzaken aan ten grondslag:

- Maatregelen ter verbetering van het intrinsiek thermisch, intrinsiek elektrisch rendement of CHPR zijn zonder subsidie kennelijk niet haalbaar of interessant;
- Met de verruiming van de vergoedingen kwamen al gerealiseerde projecten zonder aanvullende voorwaarden alsnog voor (een hogere) subsidie in aanmerking;
- De overige installaties hadden onvoldoende tijd om bijvoorbeeld warmteprojecten te ontwikkelen. Dit kwam doordat de herziene regeling binnen twee maanden werd beëindigd.

En een combinatie van de volgende basisoorzaken:

- De overheid wilde met de regeling aanvankelijk aansturen op innovatieve projecten met een hoog elektrisch rendement, zoals bijvoorbeeld de HR-AVI;
- Dergelijke concepten werden bij de huidige energieprijzen door de rest van de sector kennelijk niet haalbaar of voldoende rendabel geacht;
- Bestaande installaties zouden hooguit na vervangen van de hele stoom- en waterkringloop voor de regeling in aanmerking kunnen komen;
- De kennelijke aantrekkelijkheid van de MEP-regeling voor met name windprojecten;

- Het open einde karakter van de regeling wat betreft het overheidsbudget.

Verder is van het totaal aan de AVI's uit te keren bedrag van 98 miljoen euro voor tenminste 44 miljoen euro sprake van 'beloning achteraf'. Dit werd eveneens veroorzaakt doordat met herziening van de regeling c.q. de verruiming van de vergoedingen:

- Enkele reeds gerealiseerde projecten alsnog voor een subsidie (in totaal 26 miljoen euro) in aanmerking kwamen;
- De reeds in aanbouw zijnde HR-AVI met de herziening voor een hogere vergoeding per kWh (totale omvang 18 miljoen euro) in aanmerking kwam;
- De bedrijven de legale mogelijkheden ook hebben benut.

#### Naar aanleiding van de bevindingen voor de Biomassa energie centrales

De MEP-regeling heeft er toe geleid dat drie installaties werden opgericht. De installaties hebben een ontwerp netto elektrisch rendement van 27 tot 29 %. Daarmee nam in ieder geval de binnenlandse productie van energie uit onder meer afvalhout toe. De biomassa werd voorheen in kolencentrales bijgestookt of voor inzet in WKK-installaties naar Scandinavische landen geëxporteerd. De vraag wat over de gehele keten gezien de werkelijke milieuwinst van de realisatie van deze installaties is, valt echter buiten het bereik van dit onderzoek.

Relevant voor dit onderzoek is dat met de MEP-regeling het leveren van warmte niet wordt gestimuleerd en bij de ontvangers van de subsidie technisch ook niet is voorzien. Zonder wijziging van de regeling zal dat niet veranderen.

#### Naar aanleiding van de overige bevindingen

In ieder geval kwam de HR-AVI voor andere subsidies of regeling in aanmerking. Voor de overige bedrijven zijn daarover geen gegevens bekend. Geen van de bedrijven heeft in bijvoorbeeld het financieel of milieujaarverslag (over) de ontvangen subsidies (publieke middelen) gerapporteerd of de besteding ervan verantwoord. Dit geldt ook voor de grondslag van de energiegegevens op basis waarvan subsidie wordt uitgekeerd. De enige uitzondering daarop is het AEB, dat in haar milieujaarverslag ook het MEP-rendement rapporteert. Dit wordt verklaard doordat:

- De bedrijven hier kennelijk zelf geen belang bij hebben, en;
- Een wettelijke verplichting ontbreekt.

SenterNovem heeft kennelijk moeite met het afgeven van informatie over verstrekte subsidies en de daaraan verbonden voorwaarden. Pas na een formeel verzoek op grond van de Wet openbaarheid van bestuur werd een deel van de gevraagde informatie verstrekt. Niet duidelijk is welk belang de organisatie bij geheimhouding heeft.

Verschillende overheidsinstanties (hier SenterNovem en de Nea) verlangen ieder op hun eigen manier validatie van gebruikte meet- en registratiemethoden en verificatie van rapportages..

Met de MEP-regeling werd net als bij de REB-regeling alleen levering van elektrisch vermogen beloofd. Dit terwijl juist voor de AVI's levering van (meer) warmte de bijdrage in termen van vermeden fossiel of CO2 zou verhogen.



## **7 SDE-regeling voor de AVI's (evaluatie ex ante)**

### **7.1 Inleiding**

Nadat in augustus 2006 de subsidiebedragen van de MEP-regeling om budgettaire redenen op nul zijn gezet, is op 16 oktober 2007 het Besluit Stimulering Duurzame Energieproductie<sup>34</sup> (SDE) van kracht geworden. Onder voorwaarden kunnen bestaande en nieuwe AVI's ook voor subsidie op basis van de SDE-regeling in aanmerking komen. De vraag rijst nu of na de REB- en de MEP-regeling, de SDE-regeling voor de AVI's wel zal leiden tot verbetering van de installatie-eigen rendementen of de CHPR.

De SDE-regeling is nog maar kort van kracht. Kwantitatieve gegevens over de ontwikkeling van de installatie eigen rendementen zijn daarom nog niet bekend. Toch is, gelet op de ervaringen met de REB- en de MEP-regeling en het nog aanwezige verbeterpotentieel, ook evaluatie van deze regeling van belang.

In de hoofdstukken 5 en 6 is onderzocht in hoeverre de REB- en MEP-regeling hebben bijgedragen aan verbetering van de installatie-eigen rendementen van zowel de bestaande als nieuwe AVI's (evaluatie ex post). Het doel van dit hoofdstuk is om te beoordelen in hoeverre de SDE-regeling tot verbetering van het intrinsiek thermisch rendement, het intrinsiek elektrisch rendement of de CHPR zal leiden (evaluatie ex ante).

In paragraaf 7.2 wordt de totstandkoming en de opzet van de SDE-regeling beschreven. In paragraaf 7.3 komt het technisch haalbare rendement aan de orde, in paragraaf 7.4 het bedrijfseconomisch haalbare rendement en in paragraaf 7.5 het juridisch vereiste rendement. In paragraaf 7.5 wordt de SDE-regeling in het perspectief van het voorgaande beoordeeld.

### **7.2 Totstandkoming en opzet van de SDE-regeling**

Nadat in augustus 2006 de MEP-regeling is gestopt, dringt de VA er begin 2007 bij de politiek op aan, dat ook voor de AVI's in een nieuwe regeling wordt voorzien. Door betere toepassing van restwarmte kan het rendement van bestaande en nieuwe installaties en daarmee de bijdrage van 20 % aan de productie van duurzame energie verder worden vergroot. De VA is van mening dat daarvoor wel een "robuust stimuleringskader" noodzakelijk is (Vereniging van Afvalbedrijven, 2007).

Op 28 februari 2008 wordt de Algemene uitvoeringsregeling stimulering duurzame energieproductie (SDE-regeling) van kracht (ministerie van Economische Zaken, 2008a, 2008b, 2008c). De verschillen met de MEP-regeling zijn onder meer (ECN/KEMA, 2008):

- De mogelijkheid om jaarlijks per categorie een budgetplafond in te stellen;
- De optie voor de overheid om aanvragen te honoreren op volgorde van binnenkomst of op volgorde van rangschikking;
- De hoogte van het subsidiebedrag wordt gebaseerd op het verschil tussen de jaarlijks vast te stellen kostprijs en de ontwikkeling van de elektriciteitsprijs.

Er is dus niet langer sprake van een open eind regeling en alleen de werkelijke onrendabele top zal worden gesubsidieerd.

Ter vaststelling het subsidiebedrag wordt onderscheid gemaakt in een basisbedrag en een correctiebedrag, beiden uitgedrukt in euro per kWh. De uiteindelijke subsidie is gelijk aan het basisbedrag, verminderd met de jaarlijks achteraf vast te stellen correctie. Het basisbedrag wordt door de Minister van Economische Zaken vastgesteld aan de hand van een door ECN en KEMA uit te brengen advies inzake de gemiddelde kostprijzen (ECN/KEMA, 2008). Het correctiebedrag wordt vastgesteld op basis van de werkelijke elektriciteitsprijs, waarde van garanties van oorsprong, inkomsten uit verhandelbare emissierechten voor CO<sub>2</sub>, et cetera

---

<sup>34</sup> Voluit: Besluit van 16 oktober 2007, houdende regels inzake de verstrekking van subsidies ten behoeve van de productie van hernieuwbare elektriciteit, hernieuwbaar gas en elektriciteit opgewekt door middel van warmtekrachtkoppeling (Besluit stimulering duurzame energieproductie)



(Ministerie van EZ, 2008a). Zo wordt alleen subsidie uitgekeerd indien de elektriciteitsprijs onder het basisbedrag ofwel de kostprijs komt.

Voor de AVI's gelden verder nagenoeg de zelfde uitgangspunten als bij de MEP-regeling (zie bijlage 19). Net als bij de MEP-regeling moet het maandgemiddelde SDE-rendement ten minste 22 % zijn en komt alleen elektriciteit uit de hernieuwbare fractie voor garanties van oorsprong en dus subsidie in aanmerking. Om voor de SDE-regeling in aanmerking te komen moet sprake zijn van een ingrijpende uitbreiding (nieuwe oven met ketel en rookgasreiniginginstallatie), vervanging of renovatie. Met dat laatste wordt bedoeld dat de installatie wat betreft de energierugwinning en opwekking in staat van nieuw wordt gebracht (Ministerie van Economische Zaken, 2005a, 2005b). Achteraf belonen van reeds bestaande projecten, zoals bij de MEP-regeling kon gebeuren, lijkt hiermee uitgesloten.

### 7.3 Technisch haalbare potentieel

In tabel 7.1 zijn de technisch haalbare installatie-eigen rendementen voor een AVI, voor zover gerealiseerd in Nederland, weergegeven (zie bijlage 18 voor de onderbouwing).

Tabel 7.1 Technisch haalbare installatie-eigen rendementen

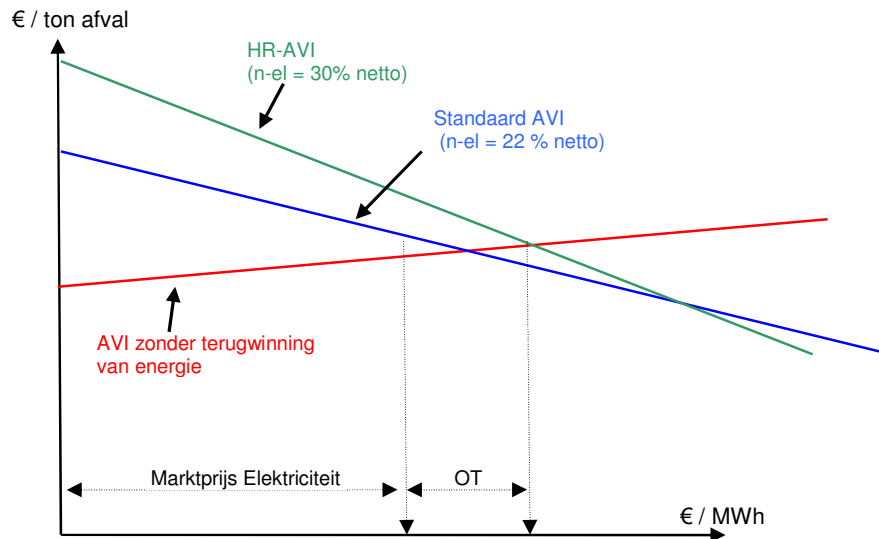
	Stand-alone AVI		Co-siting met STEG	
	Energie	Exergie	energie	Exergie
Voorbeeld	HR-AVI Afval energiebedrijf		AZN, met ketel van de HR-AVI	
Stoomdruk / temperatuur	125 bar / 460 °C		100 Bar / 400 °C	
<b>Rendement o.b.v.</b>	<b>Energie</b>	<b>Exergie</b>	<b>energie</b>	<b>Exergie</b>
$\eta_{\text{ketel}}$	87 %	47 %	87 %	36 %
$\eta_{\text{thermisch, bruto}} \text{ (CHPR=1)}$	83 %	40 %	83 %	35 %
$\eta_{\text{thermisch, netto}} \text{ (CHPR=1)}$	79 %	35 %	79 %	31 %
$\eta_{\text{elektrisch, bruto}} \text{ (CHPR=0)}$	35 %	35 %	35 %	35 %
$\eta_{\text{elektrisch, netto}} \text{ (CHPR=0)}$	30 %	30 %	31 %	31 %

Het ontwerp van de HR-AVI van het Afval energiebedrijf representeert voor Nederland het technisch haalbare voor een "stand-alone" installatie. Het technisch haalbare rendement in geval van co-siting is daarbij bepaald door het bruto thermisch en elektrisch rendement van AZN te extrapoleren op basis van het ketelrendement van de HR-AVI.

### 7.4 Bedrijfseconomisch haalbare potentieel

Voor de uitvoering van de SDE-regeling is het voor de overheid van belang inzicht te krijgen in de onrendabele top van de verschillende gewenste opties.

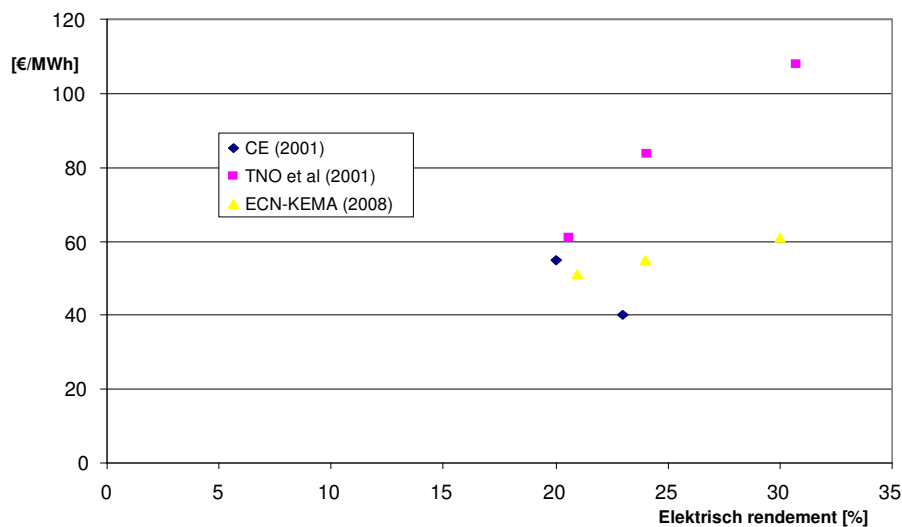
Uitgaande van volledige marktwerking zal de directie van een afvalverbrander veel interesse hebben voor het ontwerp met de laagste kostprijs. Bij de bepaling daarvan worden ook technische risico's zoals uitval i.c. stilstand als gevolg van verhoogde ketelcorrosie meegenomen. Voor de AVI's kan worden afgeleid dat de kostprijs voor de verwerking van het afval (euro/ton) lineair gecorreleerd is aan de opbrengst voor het geleverde elektrisch vermogen (euro/MWh). In figuur 7.1 is dit schematisch weer gegeven.



Figuur 7.1 Kostprijs afvalverbranding versus elektriciteitsvergoeding

De AVI zonder terugwinning van energie heeft de laagste kapitaalsinvestering (rode lijn in figuur 7.1). Echter omdat het eigen verbruik moet worden ingekocht, stijgt de kostprijs met het toenemen van de elektriciteitsprijs. De HR-AVI (groene lijn in figuur 7.1) heeft de hoogste investering en dus ook de hoogste bruto kostprijs, dat wil zeggen de kostprijs vóór de opbrengsten uit energie. Als gevolg van het hogere rendement daalt de kostprijs voor de verbranding bij toenemende elektriciteitsprijs sneller dan voor de standaard AVI (blauwe lijn in figuur 7.1) en wordt de onrendabele top (OT) nihil. De vraag is nu hoe de werkelijke kostprijs kan worden bepaald.

In de afgelopen 10 jaar zijn verschillende studies gedaan, met als doel de kostprijs van de productie van elektriciteit uit afval vast te stellen. In 2001 is door het Centrum voor schone technologie voor twee AVI's (AEB en Twence) de kostprijs van de opgewekte elektriciteit berekend (CE, 2001). Door KEMA, TNO en vertegenwoordigers van de AVI's is in dat jaar ook de economische haalbaarheid van een aantal AVI-concepten verkend, waaronder de toen nog te realiseren HR-AVI (Rijkema, Temmink, Potma & De Vries, 2001). Ten behoeve van de SDE-regeling wordt sinds 2008 jaarlijks de kostprijs van de AVI stroom bepaald (ECN & KEMA, 2008). In figuur 7.2 zijn in de bovengenoemde studies berekende kostprijzen tegen het netto elektrisch rendement uitgezet



Figuur 7.2 Kostprijs van de AVI – stroom versus het netto elektrisch rendement

Figuur 7.2 vertoont een grote spreiding tussen de uitkomsten van de verschillende kostprijs-berekeningen. Volgens de studie van CE is de kostprijs van de AVI met een netto elektrisch rendement van 23,2 % (HVC Alkmaar) lager dan die van de AVI met een netto elektrisch rendement van 20 % (Twence Hengelo). Dit wordt verklaard door het verschil in schaalgrootte van de AVI's: 4 x 25 ton/uur voor de ovens het AEB tegen 2 x 18 ton per uur voor de ovens van Twence.

De studie van TNO uit 2001 en de studie van ECN en KEMA uit 2008 laten wel een gelijke trend zien, maar anno 2008 blijkt volgens de studie van ECN en KEMA de werkelijke kostprijs lager te zijn dan in 2001 werd voorspeld (ECN & KEMA, 2008).

Hieruit blijkt dat *de* kostprijs van AVI-stroom niet kan worden bepaald. Dit komt doordat:

1. De uitkomsten van dergelijke berekeningen gevoelig zijn voor onder andere de rentevoet en afschrijvingstermijn (Rijkema, Temmink, Potma & De Vries, 2001);
2. Ook bij een gelijk (ontwerp)rendement de kostprijs per AVI verschilt als gevolg van onder meer locatiespecifieke omstandigheden en verschillen in schaalgrootte (CE, 2001);
3. De ondernemers er doorgaans geen belang bij hebben om een gedetailleerd inzicht in hun financiële huishouding te geven (Algemene Rekenkamer, 2007c). Zelfs, indien dezelfde uitgangspunten (afschrijvingstermijn, rentevoet, et cetera) worden gehanteerd, moet de kostprijs per AVI worden berekend. Dat vereist per bedrijf op installatieniveau volledig inzicht in de kostenstructuur. Dergelijke markt(gevoelige) informatie hebben niet-marktpartijen als de overheid of ECN en KEMA niet. Dit beperkt hen sterk in de mogelijkheid om de werkelijke kostprijs en onrendabele top te bepalen.

## 7.5 Juridische kaders

Met betrekking tot de energie-efficiency van de AVI's zijn de IPPC-richtlijn (EU Richtlijn inzake de geïntegreerde bescherming preventie) en de Kaderrichtlijn Afval relevant.

### 7.5.1 EU Richtlijn ter bevordering van energie uit hernieuwbare bronnen

Begin juli 2001 kwam in het Europees Parlement de Richtlijn 2001/77/EG ter bevordering van hernieuwbare bronnen op de interne elektriciteitsmarkt in stemming. Deze richtlijn bevat onder andere de definitie van duurzame energie. Aanvankelijk wilde het Europees parlement op initiatief van de Groenen de definitie van duurzame energie aanscherpen door elektriciteit uit verbranding van afval en mest niet meer als duurzaam te bestempelen. Reeds bij de voorbereiding van de Richtlijn bleek echter dat verschillende landen standpunten vertegenwoordigen die lijnrecht tegenover elkaar staan.

Nederland is voor het halen van de duurzame energie doelstelling erg afhankelijk van de opwekking van energie door AVI's. In 1999 bijvoorbeeld haalde Nederland 80% van alle duurzame energie uit verbranding van afval en fermentatie van biomassa. De toenmalige minister van EZ wilde daarom niet dat de definitie te scherp zou worden. De minister stond dan ook een ruimere interpretatie van duurzaamheid voor. Als reactie op een eventuele aanscherping van de definitie dreigde Nederland om haar doelstelling te herzien.

Uiteindelijk wordt de definitie niet aangescherpt en blijft elektriciteit opgewekt uit ongescheiden huishoudelijk en industrieel afval voor de helft als duurzaam aangemerkt. Het aandeel van 50% is gebaseerd op analyses van het gemiddelde percentage organisch materiaal in het door Nederlandse AVI's verwerkte huishoudelijk afval (ECN, 2001).

### 7.5.2 IPPC-richtlijn

De Europese Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC)-richtlijn is gericht op preventie en bestrijding van milieuverontreiniging. De richtlijn verplicht intensieve veehouderijen en grote industriële bedrijven om de best beschikbare technieken (BBT) toe te passen. Dit opdat:

- Het ontstaan van emissies zo veel mogelijk wordt voorkomen dan wel beheerst;
- Het ontstaan van afval zo veel mogelijk wordt voorkomen dan wel beheerst;
- Optimaal gebruik van grondstoffen en materialen plaatsvindt;
- Optimale energie efficiency wordt bereikt.

In de BBT reference documents, de zogenaamde BREF's is beschreven wat met betrekking tot zowel het ontwerp van een installatie als de bedrijfsvoering als best beschikbare techniek geldt.

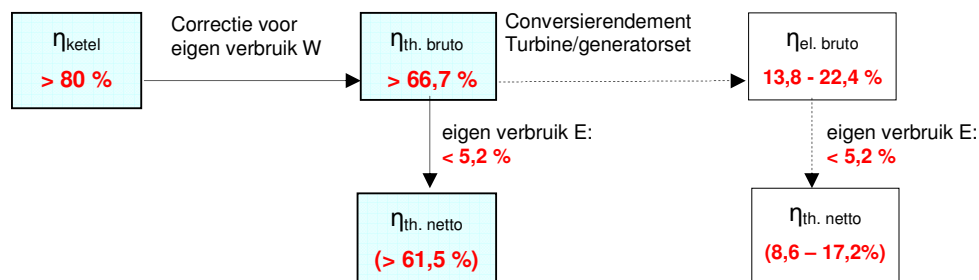
### BREF Waste incineration

Voor afvalverbranders (AVI's, biomassa energiecentrales, slibverbranders et cetera) is de BREF Waste incineration relevant (Europese Commissie, 2006). In hoofdstuk 5 van dit document wordt opgesomd wat BBT inhoudt voor het ontwerp en de bedrijfsvoering. In bijlage 20 staan de criteria met betrekking tot de terugwinning en levering van energie door de AVI's.

Wat betreft de locatiekeuze en het ontwerp geldt dat:

- Waar mogelijk lange termijn contracten de afzet van warmte verzekeren (BBT nr. 27);
- Nieuwe installaties op een zodanige locatie moeten worden gesitueerd dat WKK mogelijk is (BBT nr. 28);
- Bij het opwekken van elektriciteit hogere stoomparameters en bijzondere ketelmaterialen ter vermindering van corrosie moeten worden toegepast (BBT nr. 29).

Verder worden in de BREF eisen gesteld aan het ketelrendement (BBT nr. 26b), het intrinsiek bruto thermisch rendement (BBT nr. 61), het intrinsiek bruto elektrisch rendement (BBT nr. 62a) en het eigen verbruik aan elektrisch vermogen (BBT nr. 63). Figuur 7.3 geeft de onderlinge samenhang tussen deze BBT's weer. De eisen voor het netto intrinsiek thermisch en elektrisch rendement zijn daarvan afgeleide waarden.



Figuur 7.3 BBT voor een AVI, gedefinieerd op basis van de installatie-eigen rendementen

BBT nr. 29 stelt dat moet worden gestreefd naar "hogere" stoomparameters en het gebruik van beschermende legeringen ter bescherming van keteldelen tegen hoge temperatuur corrosie. Daarbij wordt verwezen naar paragraaf 4.3.8 van de BREF, waarin wordt gesteld dat:

*"... zonder toepassing van corrosiebeperkende maatregelen, stoomparameters in het algemeen beperkt zijn tot 40 - 45 Bar en 380 - 400 °C. Daarboven is bij toepassing van bijzondere ketelmaterialen sprake van een afweging tussen:*

- *Extra materiaalkosten voor de ketel*
- *Kosten van verminderde beschikbaarheid t.b.v. onderhoud, en*
- *Baten uit hogere opbrengst van elektriciteit...."*

Met de verwijzing naar paragraaf 4.3.8, volgt uit BBT nr. 29b dat met de BBT een hogere stoomdruk en temperatuur is aangegeven dan in paragraaf 4.3.8 van de BREF wordt bedoeld. Anders gezegd, een druk van 45 Bar en een temperatuur van 400 °C moeten als ondergrens voor BBT worden gezien.

Uitgaande van een ketelrendement van tenminste 80%, en een stoom van 40 bar / 400 °C wordt, afhankelijk van de beschikbaarheid van oppervlaktewater voor koeling van de condensor, een netto elektrisch rendement van 20 tot 22 % behaald.

**Conclusie:** de BBT's voor het intrinsiek elektrisch rendement staan technisch gezien niet in verhouding tot de BBT's ten aanzien van het ketelrendement en de stoomparameters. Dit komt doordat de BREF's en daarmee ook de afzonderlijke BBT's een product zijn van onderhandelingen tussen vertegenwoordigers uit de verschillende lidstaten.

### Juridische betekenis van de BREF

Krachtens de richtlijn moeten de lidstaten borgen dat tenminste de best beschikbare techniek wordt toegepast. In 2005 is de IPPC-richtlijn verankerd in de Wet milieubeheer (Wm) en de Wet verontreiniging oppervlaktewateren (Wvo). Zo stelt artikel 8.11, 2<sup>o</sup> lid van de Wm:

*“In het belang van het bereiken van een hoog niveau van bescherming van het milieu worden aan de vergunning de voorschriften verbonden, die nodig zijn om de nadelige gevolgen die de inrichting voor het milieu kan veroorzaken, te voorkomen of, indien dat niet mogelijk is, zoveel mogelijk – bij voorkeur bij de bron – te beperken en ongedaan te maken. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat in de inrichting ten minste de voor de inrichting in aanmerking komende beste beschikbare technieken worden toegepast”.*

Het is dus aan het bevoegd gezag om middels de vergunning te borgen dat ten minste de Best beschikbare techniek wordt toegepast. Over de hardheid van de BBT reference documenten, de daarin genoemde best beschikbare technieken in het bijzonder, bestond aanvankelijk nog onduidelijkheid. Dat had een aantal oorzaken:

- In de BREF's gehanteerde criteria waren niet altijd expliciet gedefinieerd;
- De bestaande bedrijven hadden tot oktober 2007 tijd om aan de eisen van BBT te voldoen. De BREF Waste incineration werd pas in augustus 2006 definitief vastgesteld;
- Met betrekking tot emissies bestond tussen de landen verschil van mening over de met BBT verbonden waarden. Indien geen compromis werd bereikt, werd dit in de BREF als “split view” opgenomen;
- De grote technische en daarmee verbonden financiële gevolgen, indien een aantal bestaande installaties aan alle eisen zou moeten voldoen.

In recente uitspraken van de RvS wordt Wm artikel 8.11 strikt uitgelegd (zie onder meer: RvS 200701619-1, RvS 200800706-1). Zo werd de revisie Wm-vergunning van AVR Rotterdam in haar geheel vernietigd, onder meer omdat het ketelrendement (BBT nr. 26) van circa 70% niet aan de eis van BBT voldeed (RvS; 200700706-1). Dit terwijl met het elektrisch rendement (ruim 18% bruto, circa 12% netto) wel aan de eisen van BBT werd voldaan.

Mede naar aanleiding van de gevormde jurisprudentie besloten Gedeputeerde Staten (GS) van de provincie Drenthe in 2007 om een vergunningaanvraag van Essent milieu voor uitbreiding van haar installatie in Wijster te weigeren (Drenthe, 2004). Dit omdat in de omgeving van de nieuwe installatie geen afnemers van warmte gevonden zouden kunnen worden (BBT nr. 28).

De conclusie luidt dat de eisen vanuit de BREF, althans in Nederland, strikt uitgelegd dienen te worden. Met andere woorden: een AVI moet ten minste aan alle eisen van de BREF waste incineration voldoen, waaronder de in figuur 7.3 weergegeven installatie-eigen rendementen.

### 7.5.3 Kaderrichtlijn Afval

Na de herziening van de Kaderrichtlijn afvalstoffen (Richtlijn 2008/98/EG van 19 november 2008), kan afvalverbranding als nuttige toepassing (R1) in plaats van verwijdering (D10) worden aangemerkt. Het voordeel daarvan is dat voor nuttige toepassing het afval over de grens mag worden gebracht ofwel uit andere EU-landen mag worden geïmporteerd.

Bij de verwerking van stedelijk afval is sprake van nuttige toepassing indien het afval wordt gebruikt als brandstof of als ander middel voor energieopwekking. Volgens bijlage II van de richtlijn vallen daaronder ook de verbrandingsinstallaties die specifiek bestemd zijn om vast stedelijk afval te verwerken, mits hun energie-efficiency (EE) voor bestaande installaties tenminste 0,6 bedraagt. Voor installaties waarvoor na 31 december 2008 een vergunning is afgegeven moet de EE (dimensieloos) tenminste 0,65 zijn.

De EE wordt in de richtlijn gedefinieerd als:

$$EE = \frac{E_p - (E_f - E_i)}{0,97 * (E_w - E_f)} \quad (7.1)$$

Waarin:

$$E_p = 2,6 * \text{geproduceerde elektriciteit} + 1,1 * \text{commercieel geproduceerde warmte} \quad (7.2)$$

Met:

$EE$  energie efficiency [-]

$E_p$  geproduceerde energie [GJ / jaar]

$E_f$  energie input afkomstig van (fossiele) brandstoffen [GJ/jaar]

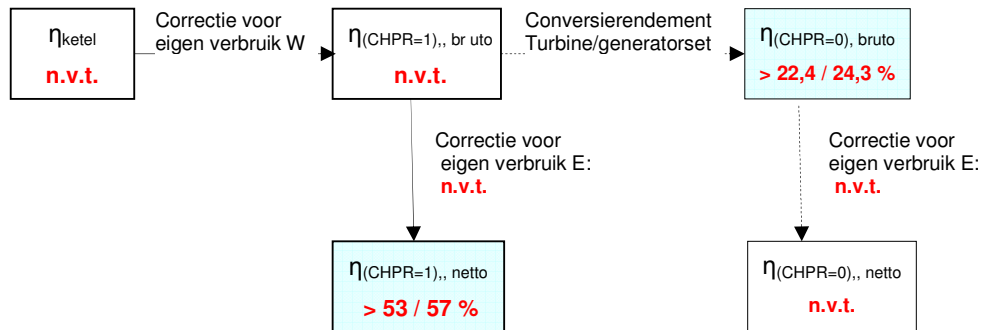
$E_i$  geïmporteerde energie [GJ/jaar]

$E_w$  met het afval toegevoerde energie [GJ/jaar]

0,97 correctiefactor voor verlies via de bodemas en stralingsverlies van de ketel

De factor 2,6 is gebaseerd op het gemiddelde elektrische rendement van 38% van Europese kolencentrales en de factor 1,1 op het gemiddelde rendement een ketel (Ökopol, 2006). De conventionele kolencentrales en olie of gasgestookte ketel (groot vermogen) worden hiermee als benchmark gehanteerd.

Indien het verbruik van fossiele brandstof nihil is en geen import van energie plaatsvindt, dan komt de eis van 0,6 overeen met een intrinsiek bruto elektrisch rendement (CHPR=0) van 22,4 %. Voor nieuwe installaties geldt dan een intrinsiek bruto elektrisch rendement (CHPR=0) van tenminste 24,3 %. Indien alleen warmte wordt geleverd (CHPR = 1), dan moet geproduceerde warmte conform de vergelijking 7.1 (energie efficiency) worden gecorrigeerd voor het ingekochte elektrisch vermogen. In dat geval geldt een intrinsiek netto thermisch rendement van tenminste 52,9 % voor bestaande installaties of 57,3 % voor nieuwe installaties. In figuur 7.4 zijn de criteria schematisch weergegeven.



Figuur 7.4 Criteria voor nuttige toepassing, uitgedrukt in installatie-eigen rendementen

Over bovenstaande criteria uit de kaderrichtlijn Afval kan het volgende worden opgemerkt:

- Indien uitsluitend elektriciteit wordt geleverd (CHPR=0) moet het bruto elektrisch rendement tenminste gelijk zijn aan de bovenste grenswaarde voor BBT. Niet bekend is of dit ook bewust zo gekozen is;
- Indien uitsluitend warmte wordt geleverd (CHPR = 1) dan volstaat een intrinsiek netto thermisch rendement van 53% (bestaande AVI's) of 57% (nieuwe installaties). Dit is lager dan de eis voor BBT;
- Zolang sprake is van levering van elektriciteit en warmte zal in de praktijk de eis ten aanzien van het bruto elektrisch rendement bepalend zijn. Echter, indien alle warmte kan worden afgezet, dan kan ook een AVI met heetwaterketel als vorm van nuttige toepassing worden aangemerkt. Dit komt doordat geen rekening wordt gehouden met de werkelijke kwaliteit of exergie van geleverde warmte;
- In de Kaderrichtlijn Afval wordt onderscheid gemaakt tussen bestaande en nieuwe installaties. Volgens artikel 16 van de richtlijn moeten de lidstaten zorgen voor een passende afvalverwijderingstructuur en daarbij rekening houden met de best beschikbare technieken. Volgens de IPPC-richtlijn hadden de reeds bestaande installaties tot oktober 2007 tijd om aan de eisen van BBT te voldoen.

**Conclusie:** Op Europees niveau en binnen de lidstaten zijn verschillende beoordelingskaders met criteria van toepassing als het gaat om de energie-efficiency van AVI's.

Indien aan alle eisen ten aanzien van de BBT wordt voldaan, het ketelrendement en de stoomparameters in het bijzonder, zal een AVI altijd als nuttige toepassing aangemerkt kunnen worden. Anderzijds kan een AVI die niet aan alle eisen van BBT voldoet, volgens de kaderrichtlijn Afval toch als nuttige toepassing worden aangemerkt.

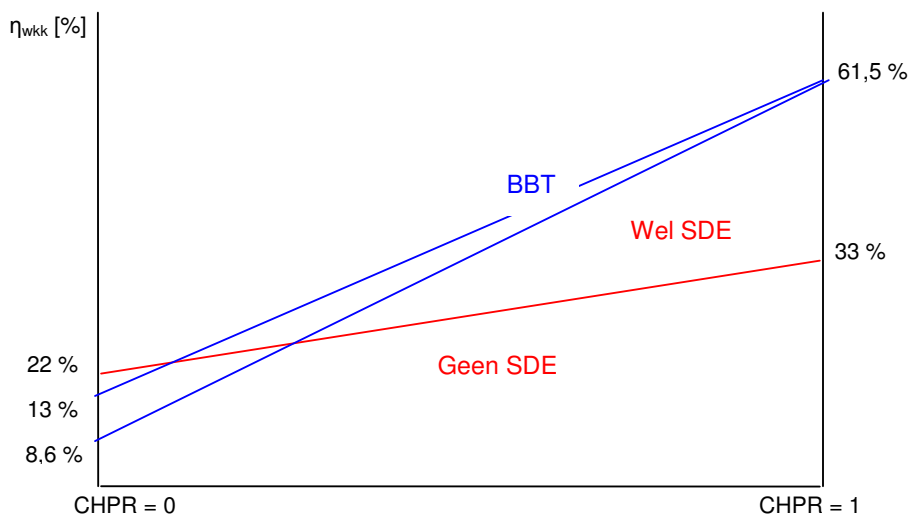
## 7.6 SDE-regeling voor de AVI's

### 7.6.1 Mogelijke betekenis van de SDE-regeling voor de AVI's

#### SDE versus IPPC

In de SDE-regeling wordt voor de AVI's een gestaffeld tarief gehanteerd (bijlage 19). Net als bij de MEP-regeling is het SDE-rendement gelijk aan het (netto) elektrisch rendement vermeerderd met 2/3 van het thermisch rendement. Indien uitsluitend elektriciteit wordt geleverd (CHPR = 0) dan komt de AVI met een netto (elektrisch) rendement van 22% of hoger voor SDE-subsidie in aanmerking. Indien uitsluitend warmte wordt geleverd (CHPR = 1) dan komt de AVI bij een rendement van  $22 \cdot 3/2 = 33\%$  netto voor SDE-subsidie in aanmerking. Daarmee kan ook een installatie die niet aan de eisen van BBT voldoet, SDE-subsidie ontvangen.

In figuur 7.5 is dit in het WKK-diagram weergegeven.

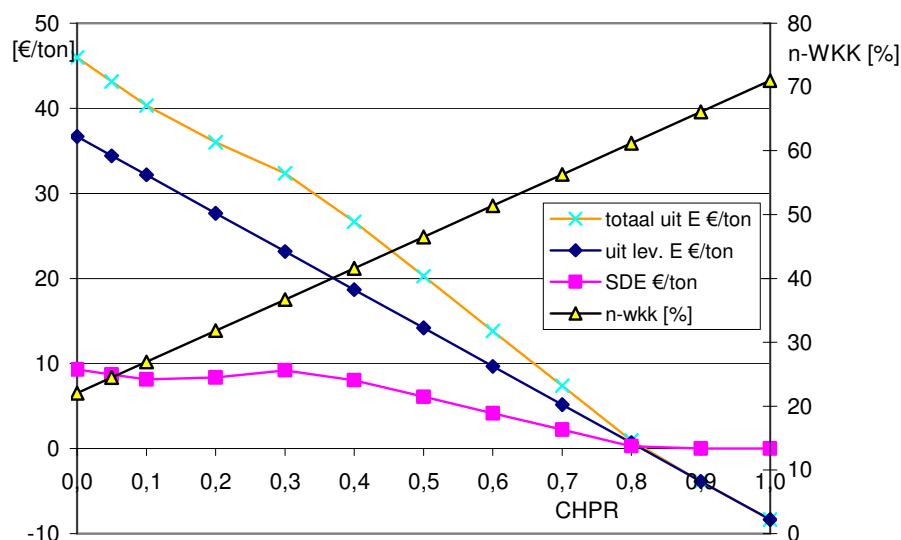


Figuur 7.5 Criteria om voor SDE in aanmerking te komen

#### SDE-subsidie versus bedrijfseconomie

In figuur 7.6 zijn voor een standaard AVI<sup>35</sup> de SDE-subsidie (basisbedrag is € 40/MWh) en de totale inkomsten uit het geleverd elektrisch vermogen in het WKK diagram weergegeven.

<sup>35</sup> AVI met netto elektrisch rendement van 22%, stookwaarde afval is 10 GJ/ton en marktvergoeding is € 60/MWh.



Figuur 7.6 Inkomsten uit levering van elektriciteit en SDE versus de CHPR

Figuur 7.6 laat zien dat de totale inkomsten uit elektriciteit bij toenemende CHPR mét SDE-subsidie sterker afnemen dan zonder SDE-subsidie. Dit komt doordat de staffel in de subsidiebedragen het afnemende elektrisch rendement niet kan compenseren.

Voor nieuwe installaties bevordert de regeling een zodanig ontwerp dat een SDE-rendement van tenminste 22% kan worden behaald. Dit kan door toepassen van hogere stoomparameters en of een aftap op de turbine voor levering van warmte. Echter, is dit eenmaal het geval, dan is levering van (meer) warmte nadeliger voor een installatie met SDE-subsidie dan voor een installatie zonder SDE-subsidie als het gaat om de inkomsten uit elektriciteit. Dit terwijl juist door levering van warmte de bijdrage in termen van vermeden fossiel of CO<sub>2</sub> sterk vergroot kan worden.

#### SDE-regeling versus technisch haalbare potentieel.

Voor verhoging van het intrinsiek thermisch en elektrisch rendement van een bestaande AVI is vervanging van gehele stoom- en waterkringloop nodig. In geval van een nog jonge installatie kan de potentiële bijdrage in termen van vermeden fossiel of CO<sub>2</sub> daarom het best worden benut door levering van (meer) warmte. Bestaande AVI's worden met de eis van ingrijpende wijziging echter bij voorbaat van de SDE-regeling uitgesloten.

**Conclusie:** voor een (als) nieuw te realiseren AVI zal de SDE-regeling slechts fungeren als een "verzekering" tegen een lage marktprijs voor elektriciteit. Levering van warmte wordt er niet mee bevorderd. Op de bestaande AVI's zal de SDE-regeling geen effect hebben. Dit komt doordat het jaarlijks door ECN en KEMA vast te stellen basisbedrag (lees kostprijs) voor de elektriciteit uit afval is gebaseerd op nieuwbouw en levering van uitsluitend elektriciteit (CHPR = 0). Dat er nog geen resultaten van de SDE-regeling bekend zijn, doet hier niets aan af.

#### 7.6.2 Uitvoering van de SDE-regeling tot nu toe

Tot op heden hebben twee nieuwe installaties SDE-subsidie toegekend gekregen. De in oktober 2008 in bedrijf genomen derde verbrandingslijn van Twence en de Europark Verbrennungs Installation (EVI) in Coevorden.

##### Twence Hengelo: Derde lijn

De begin 2009 in gebruik genomen nieuwe verbrandingsoven heeft een ontwerpcapaciteit 250 kton/jaar en ontwerp intrinsiek elektrisch rendement van 19,5 % netto<sup>36</sup>. De installatie zal voor de helft afval uit Duitsland verwerken. Met het oog op verhoging van het rendement en de daarmee te verkrijgen MEP-subsidie is, ten behoeve van warmtelevering aan onder meer een zoutfabriek, een aftapturbine voorzien.

<sup>36</sup> [http://www.twence.nl/actueel/nieuws/081223\\_eerste\\_afval\\_Triade.doc/](http://www.twence.nl/actueel/nieuws/081223_eerste_afval_Triade.doc/). Geraadpleegd op 15 augustus 2009.



Omdat de MEP-regeling werd gestopt voordat het bedrijf de aanvraag daarvoor had ingediend, is SDE-subsidie aangevraagd en toegekend. Met de beschikking heeft de overheid zich voor een totaal bedrag van maximaal 71 miljoen euro aan subsidie gecommitteerd (SenterNovem, 2009c). Het is echter de vraag of dat bedrag uiteindelijk ook zal worden ontvangen. Ten eerste moet de levering van warmte nog tot stand komen. Ten tweede is het goed mogelijk dat de energieprijzen, dus ook die van elektriciteit, de komende jaren zullen stijgen en de onrendabele top afneemt.

Het uitzicht op MEP-subsidie heeft er in ieder geval toe geleid dat bij het ontwerp gekozen is voor een turbine met aftap voor lage drukstoom. Met de SDE-subsidie als opvolger van de MEP-regeling doet het bedrijf er alles aan die voorziening ook zo snel mogelijk te kunnen gebruiken. Met maximale warmtelevering zou een WKK-rendement van circa 65% netto worden behaald.

#### EVI Coevorden: nieuwe AVI

De nieuwe AVI, een joint venture van onder andere SITA en VolkerWessels is gebouwd op de grens van Nederland en Duitsland (VolkerWessels, 2009). Het ontwerp voorziet in verwerking van 2 x 182 kton huishoudelijk en bedrijfsafval per jaar. Met de geproduceerde stoom van 460 °C en 60 Bar wordt een bruto elektrisch rendement van 30 % voorzien (EVI Abfallverwertung BV, 2009). Uitgaande van een eigen verbruik van 4%, komt dat overeen met een netto elektrisch rendement van 26%. De installatie is medio 2008 in bedrijf genomen, gegevens over de werkelijke energieprestaties zijn daarom nog niet bekend.

De verbranding en de rookgasreiniging, zijn met het oog op invoering van het stortverbod voor brandbaar afval en aanvankelijk ook de hogere emissiegrenswaarden voor NOx, op Duits grondgebied gebouwd. De turbine is met het oog op de MEP-subsidie op Nederlands grondgebied geplaatst. Aan de nieuwe installatie is voor 15 jaar SDE-subsidie toegekend. De maximaal uit te keren subsidie bedraagt 116 miljoen euro (SenterNovem, 2009c).

In het geval van de EVI hebben het vooruitzicht op MEP-subsidie en het in Duitsland in te voeren stortverbod voor onbewerkt brandbaar afval, er voor gezorgd dat de AVI er kon komen. Niet bekend is in hoeverre de MEP-subsidie van belang was bij het ontwerp van de stoom- en waterkringloop c.q. het beoogde ontwerprendement.

#### Bestaande installaties

Op dit moment worden een aantal installaties vervangen of ingrijpend gewijzigd. De installaties zonder terugwinning van energie (HVC Dordrecht), met alleen een heet waterketel (SITA Roosendaal) of een te laag elektrisch rendement (AVR Rotterdam) worden op dit moment al vervangen. Het is niet bekend of hiervoor ook SDE-subsidie is of nog zal worden aangevraagd. Voor zover bekend is daarbij in alle gevallen gekozen voor een aftapturbine ten behoeve van warmtelevering. Echter, gegeven het feit dat de SDE-regeling de realisatie van zo'n voorziening noch het gebruik ervan stimuleert, kan dit niet aan de regeling worden toegeschreven.

Voor overige installaties kan de potentiële bijdrage in termen van vermeden brandstof of CO<sub>2</sub> het best worden benut door levering van (meer) warmte. Zij worden door de eis van ingrijpende wijziging echter bij voorbaat van de regeling uitgesloten.

## **7.7 Conclusie**

Tussen de IPPC Richtlijn, de Kaderrichtlijn Afval en de SDE-regeling bestaan grote verschillen in de beoordelingskaders als het gaat om de energie-efficiency van de AVI's. Wat betreft de inhoudelijke eisen ontbreekt onderlinge samenhang. Zo kan verbranden in een AVI die niet aan alle eisen van BBT (IPPC-richtlijn) voldoet, toch als een vorm nuttige toepassing (Kaderrichtlijn Afval) worden aangemerkt en in theorie ook voor SDE-subsidie in aanmerking komen.

Ten behoeve van de uitvoering van de SDE-regeling wordt door ECN en KEMA jaarlijks het basisbedrag (zeg kostprijs) van de geproduceerde elektriciteit vastgesteld (ECN/KEMA 2004; 2008). Uit dit hoofdstuk is duidelijk geworden dat deze instantie(s) in de regel niet over de gegevens beschikken om dit op juiste wijze te doen.

Voor nieuw te realiseren AVI's resulteert leveren van (meer) warmte, met SDE-subsidie in een snellere daling van de opbrengsten uit elektriciteit dan zonder SDE-subsidie. Verhogen van de CHPR wordt dus ontmoedigd in plaats van gestimuleerd. Gelet op de lage basisbedragen, fungeert de SDE-regeling voor de nieuwe te realiseren AVI's daarom hooguit als een verzekering tegen een dalende marktprijs voor elektriciteit.

Installaties zonder terugwinning van energie (HVC Dordrecht), met alleen een heet waterketel (SITA Roosendaal) of een te laag elektrisch rendement (AVR Rotterdam) worden in ieder geval al vervangen. Voor deze nieuwe, maar ook de overige reeds bestaande installaties, kan de potentiële bijdrage in termen van vermeden brandstof of CO<sub>2</sub> daarom het best worden benut door levering van (meer) warmte. Eenmaal bestaande installaties zijn door de eis van ingrijpende wijziging echter bij voorbaat van de SDE-regeling uitgesloten.



## 8 Discussie, conclusies en aanbevelingen

In de hoofdstukken 4 t/m 7 zijn de vier deelvragen van dit onderzoek beantwoord. Aan het eind van die hoofdstukken zijn de bevindingen samengevat en conclusies getrokken.

Met de conclusies op basis van de deelvragen is echter nog geen antwoord gegeven op de twee hoofdvragen van dit onderzoek. Om aanbevelingen te kunnen doen voor vervolgbesluit of vervolgonderzoek is ook beantwoording van de hoofdvraag van dit onderzoek van belang.

Doel van dit hoofdstuk is om, op basis van een discussie over de vier deelvragen, antwoord te geven op de twee subhoofdvragen en impliciet de hoofdvraag van dit onderzoek.

In paragraaf 8.1 worden de bevindingen en conclusies met betrekking tot de deelvragen in hun onderlinge samenhang besproken. In paragraaf 8.2 worden op basis van die integrale afweging conclusies getrokken met betrekking tot de twee subhoofdvragen van dit onderzoek alsmede de onderzoeksaanpak. In de paragraaf 8.3 worden ten slotte aanbevelingen gedaan voor vervolgbesluit en vervolgonderzoek.

### 8.1 Discussie

#### 8.1.1 REB-convenant

##### Perceptie van de situatie en doelstellingen van het convenant

Als eind jaren negentig alleen nog de energie uit het biomassadeel van het afval als duurzaam mag worden geteld, komt realisatie van de duurzame energiedoelstelling van de overheid in gevaar. Gelet op de grote bijdrage en verbeterpotentieel heeft het ministerie van EZ de AVI's nodig om de doelstellingen alsnog te halen. Het probleem was niet zozeer de efficiency maar de gehalveerde bijdrage van de AVI's aan de productie van duurzame energie. Met het REB-convenant stond dan ook verhoging van de output centraal. Dat moest bij voorkeur worden bereikt door verhoging van de efficiency, maar daarover werden in het convenant geen afspraken gemaakt. De teruggave vond plaats op basis van het netto geleverd elektrisch vermogen uit de biomassafractie.

##### Resultaten van convenant in het bijzonder

De doelstelling om de output te verhogen is voor 90% behaald door verhogen van de afval doorzet. Circa 10% is bereikt door toename van het intrinsiek elektrisch rendement bij twee van de elf AVI's. Op basis van exergie is het WKK-rendement zelfs afgenomen.

Gelet op lage de CHPR (paragraaf 4.2.1) van 0,1 was vooral de ontwikkeling het intrinsiek netto elektrisch rendement relevant. Er zijn aannames gedaan, maar de geïntroduceerde onzekerheden zijn kleiner dan de "natuurlijke" variatie van dit rendement over de onderzochte periode (1997 t/m 2005). De aannames doen daarmee niets af aan de conclusies met betrekking tot de ontwikkeling van het intrinsiek netto thermisch rendement, het intrinsiek netto elektrisch rendement en de CHPR.

Een opmerkelijke conclusie is dat de doelstellingen van de overheid ook zonder het convenant bereikt zouden zijn. Dit gelet op de wijze waarop deze zijn behaald en op basis van een bedrijfseconomische beschouwing. Voor zover al specifieke maatregelen ter verbetering van de installatie-eigen rendementen of CHPR waren genomen, hadden deze een terugverdientijd van 2 tot 5 maanden. In de praktijk worden maatregel met een terugverdientijd tot 5 jaar nog als zeker beschouwd. Zelfs indien de baten een factor 2 te hoog zouden zijn ingeschat, dan wordt de bedrijfseconomische zekerheid gehandhaafd.

##### Het convenant als beleidsinstrument

Wat betreft de output (bijdrage in termen van vermeden primaire energie) zijn de doelen van het convenant gehaald, zij het pas in 2005. Het convenant fungeerde hier niet als een klassiek communicatief instrument, maar als middel om voorwaarden te verbinden aan vrij komen van financiële middelen. Daarmee was feitelijk sprake van een contract. De CHPR is gedurende de looptijd van het convenant zelfs afgenomen. De conclusie is daarom dat het convenant niet heeft geleid tot verbetering van de installatie-eigen rendementen of levering van meer warmte.

De oorzaken daarvan zijn met behulp van een Root Cause analysis (basisoorzaak analyse) bepaald. Vanuit het hoofdprobleem (de conclusie dat de intrinsieke rendementen niet zijn verbeterd) is op basis van de feiten (beschreven in hoofdstuk 5 van dit onderzoek) beredeneerd wat daarvan de directe en de basisoorzaken zijn. Het oorzaak- en gevolgdigram (feitenboom) is zodanig geconstrueerd dat indien één van de basisoorzaken zou wegvallen, de hele "boom" omvalt.

**De conclusies met betrekking tot de directe en basisoorzaken van het falen van het convenant als het gaat om verbetering van de installatie-eigen rendement zijn daarmee feitelijk onderbouwd, controleerbaar en reproduceerbaar.**

### 8.1.2 MEP-regeling

#### Perceptie van de situatie en doelstelling van de regeling voor de AVI's

Na afloop van het REB-convenant moesten ook de AVI's voor een nieuwe regeling in aanmerking komen. Aanvankelijk werden niet alleen bestaande AVI's van de regeling uitgesloten, maar was het minimaal vereiste elektrisch rendement van 26% netto ook voor nieuwe installaties moeilijk haalbaar. Met de aanpassing van de regeling, het introduceren van een gestaffeld tarief in het bijzonder, kwamen kennelijk ook reeds gerealiseerde of in uitvoering zijnde projecten voor de subsidie in aanmerking.

In tegenstelling tot het REB-convenant werd met de MEP-regeling aanvankelijk dus aangestuurd op een zo hoog mogelijk elektrisch rendement van nieuw te realiseren installaties. Als een installatie voor MEP-subsidie in aanmerking kwam betekende levering van (meer) warmte minder subsidie. Dit gold nog sterker voor installaties met een hoog intrinsiek elektrisch rendement. Bestaande installaties werden zonder ingrijpende wijziging bij voorbaat van de regeling uitgesloten, terwijl juist daar met uitkoppeling van warmte grote milieuwinst is te behalen. Kern van het probleem is dat de regeling geen rekening houdt met de CHPR-functies van de AVI's.

#### Resultaten voor de AVI's die voor de MEP-subsidie in aanmerking kwamen

**De conclusie is dat de MEP-regeling voor de drie bestaande installaties die er voor in aanmerking kwamen, niet heeft geleid tot verbetering van het intrinsiek netto thermisch en elektrisch rendement of de CHPR.**

#### Resultaten voor de AVI's die niet voor MEP-subsidie in aanmerking kwamen

Voor de overige AVI's is de regeling te kort van kracht geweest om mogelijk effect te kunnen hebben. Voor zover bekend hebben die (met het oog op eventuele MEP-subsidie) zelf ook geen specifieke maatregelen ter verbetering van de rendement of CHPR genomen. Van de installaties die (mogelijk) wel MEP-subsidie kregen, is het intrinsiek netto thermisch rendement, het intrinsiek elektrisch rendement alsmede de CHPR per AVI beschouwd, niet toegenomen.

Voor deze installaties is alleen het intrinsiek netto elektrisch rendement van belang. Alle benodigde gegevens waren bekend, zodat voor de berekening daarvan geen aannames hoefden te worden gedaan.

### 8.1.3 SDE-regeling

#### Perceptie van de situatie en doelstelling van de regeling

Na een lobby vanuit de sector en is in de SDE-regeling ook een regeling voor de AVI's voorzien. In tegenstelling tot de MEP-regeling wordt alleen de werkelijke onrendabele top gesubsidieerd. Net als bij de MEP-regeling is sprake van een gestaffelde vergoeding. De definitieve vergoeding hangt af van het verschil tussen de vastgestelde kostprijs en de marktprijs voor elektriciteit.

Net als bij het REB-convenant en de MEP-regeling wordt in de staffel geen rekening gehouden met de WKK-functie van de AVI's. De potentiële winst in termen van vermeden fossiel of CO<sub>2</sub> blijft hiermee, met name voor de bestaande AVI's, onbenut. Verder wordt net als bij de REB- en MEP-regeling alleen geleverd elektrisch vermogen afkomstig van de hernieuwbare fractie beloofd. De AVI heeft daar echter geen invloed op.

Te verwachten resultaten voor de AVI's.

**Op basis van een kwalitatieve beoordeling (evaluatie ex ante) is de conclusie dat de SDE-regeling net als de MEP-regeling, feitelijk alleen aanstuurt op een zo hoog mogelijk intrinsiek elektrisch rendement.**

Voor zover bij de huidige en elektriciteitsprijzen al subsidie zal worden uitgekeerd, nemen de inkomsten uit de SDE-regeling met levering van warmte direct af. Voor zover nieuwe AVI's door levering van warmte voor MEP-subsidie in aanmerking willen komen, hebben zij er gelet op de inkomsten uit de SDE-regeling geen belang bij een hoger SDE-rendement dan 22% netto na te streven. Met de anno 2009 nog in aanbouw zijnde verbrandingscapaciteit is storten van brandbaar afval in Nederland niet meer nodig. Reeds in aanbouw zijnde AVI's zullen niet meer voor MEP-subsidie in aanmerking komen, bestaande AVI's worden zonder ingrijpende wijziging bij voorbaat uitgesloten.

**De conclusie is daarom dat de SDE-regeling niet tot verbetering van het intrinsiek elektrisch rendement of de CHPR zal leiden.** Dit geldt voor zowel de nog in aanbouw zijnde installaties als de bestaande ovens. Dat er nog geen resultaten op basis van gerealiseerde rendementen en uitgekeerd bedragen bekend zijn doet aan deze conclusie niets af.

#### 8.1.4 Beleid met betrekking tot energiewinning uit afval in het algemeen

Afvalverbranding als bron van "duurzame" energie

Door het ministerie van Economische Zaken en het CBS wordt alle energie uit hernieuwbare bronnen als duurzaam aangemerkt<sup>37</sup>. Dit is echter een onvoldoende gespecificeerde interpretatie van het begrip duurzaam. Het gaat bij duurzaamheid bijvoorbeeld ook om de efficiency waarmee de bronnen worden benut en de daarmee gepaard gaande emissies.

Beperking van het aandeel biomassa kan worden bereikt door toepassing van reeds bewezen instrumenten als Diftar. Daarbij wordt per huishouden afgerekend op basis van de werkelijk aangeboden kilo's afval. Voor zover al een niet meer herbruikbare reststroom overblijft moet die zo efficiënt mogelijk worden verbrand. Discussie over de vraag of afval wel of niet duurzaam is, doet daarbij niet ter zake.

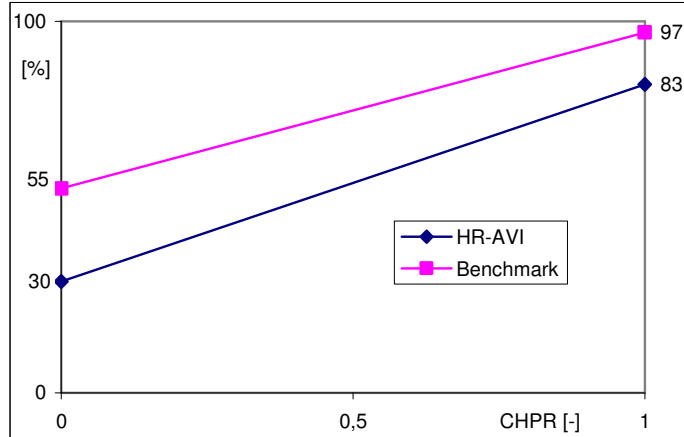
Indien gecorrigeerd voor het aandeel fossiel in het afval en de eigen uitstoot aan fossiele CO<sub>2</sub>, is de bijdrage van de AVI's nagenoeg nihil. Dit komt doordat het aandeel biomassa vrijwel teniet wordt gedaan door het lagere rendement van de AVI ten opzichte van de referentie.

Het belang van levering van (rest)warmte

In hoofdstuk 3 is ingegaan op het relatief beperkte elektrische rendement van de AVI's in vergelijking met bijvoorbeeld een STEG-eenheid of een kolencentrale. In figuur 8.1 is het technisch haalbare rendement (zie ook tabel 7.1) in een WKK-diagram tegen het rendement van de benchmark uitgezet. Voor het opwekken van elektriciteit is dat een STEG-eenheid, voor het leveren van warmte een HR Cv-ketel.

---

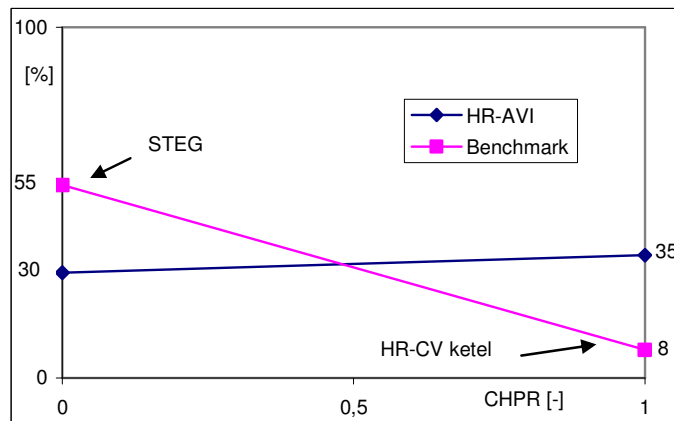
<sup>37</sup> Zie onder meer de definitie in het Monitoring protocol Duurzame Energie (EZ, 2006)



Figuur 8.1 Energie rendement HR-AVI versus benchmark (STEG, HR Cv-ketel)

Uit figuur 8.1 blijkt duidelijk door het leveren van (meer) warmte het energierendement van AVI toeneemt en uiteindelijk dat van de benchmark benadert. De zelfde conclusie zou volgen indien de vermeden fossiele brandstof of fossiele CO<sub>2</sub> tegen de CHPR zou worden uitgezet.

Het beeld wordt anders indien de rendementen op basis van exergie met elkaar worden vergeleken. Zie figuur 8.2.



Figuur 8.2 Exergie rendement HR-AVI versus benchmark (STEG, HR CV-ketel)

Wat betreft het opwekken van elektriciteit blijft het patroon gelijk. Alle elektrische energie is immer ook exergie. Dit is niet geval wat betreft de levering van warmte. De HR Cv-ketel heeft weliswaar een hoog energie rendement, maar gelet op de temperatuur van het geproduceerde warm water (maximaal 90 °) in relatie tot de brandstof (aardgas) een zeer laag exergie rendement. Door het leveren van (rest)warmte ten behoeve van bijvoorbeeld stadsverwarming stijgt het exergierendement van de AVI niet, maar wordt deze wel veel hoger dan het rendement van de referentie. Anders gezegd:

**Een AVI probeert de meest laagwaardige brandstof (afval) om te zetten in de meest hoogwaardige energiedrager (elektriciteit). Een Cv-ketel zet de meest hoogwaardige brandstof (aardgas) in voor de meest laagwaardige toepassing, ruimteverwarming.**

De levering van stadswarmte is niet doelmatig omdat de AVI daarmee beter presteert, maar omdat daarmee een ondoelmatige inzet van aardgas wordt vervangen. Die brandstof kan beter in een STEG worden ingezet.

Subsidie op geleverd elektrisch vermogen afkomstig van de biomassafractie

Net als de REB-regeling werd alleen het van de biomassafractie afkomstige netto geleverd elektrisch vermogen gesubsidieerd. Jaarlijks wordt in opdracht van SenterNovem ergens een

sorteerproef gedaan, de AVI's moeten voor het verkrijgen van de GVO's dit ook doen. Dit gaat echter voorbij aan het feit dat:

- Het aandeel biomassa niet door de AVI's is te beïnvloeden;
- De AVI's er belang bij hebben zo veel mogelijk afval te verbranden en;
- De energie efficiency centraal moet staan.

Na storten moet op basis van de ladder van Lansink het verbranden van afval zo veel mogelijk worden voorkomen. Dat impliceert dat afvalverbranding in ieder geval niet direct of indirect (i.c. via de energieopbrengsten) moet worden gesubsidieerd. Dat is immers strijdig met het principe van de vervuiler betaalt. Vanuit dat perspectief passen daar heldere eisen ten aanzien van het energierendement bij, waarbij de kosten op de vervuiler moeten worden afgewenteld.

#### Financiële sturing door de overheid

Bij het falen van de markt (in dit geval omdat de energie te goedkoop is!) kan zij er beter naar streven de markt zelf in de richting van een meer duurzame richting te laten bewegen. In dit geval is te denken aan een verdere vergroening van het fiscale stelsel i.e. verhogen van belasting op energie en grondstoffen (voor alle gebruikers!) tegenover verlaging van de belasting op arbeid of vennootschapsbelasting.

Dit onderzoek laat zien dat voor een doelmatige en efficiënte overheidssturing met behulp van financiële instrumenten, een volledig inzicht in zowel de technische als bedrijfseconomische kenmerken van een bedrijfstak is vereist. Met het REB-convenant, de MEP-regeling en vooral de SDE-regeling betreedt de overheid zelf de markt, door het verdelen van publieke middelen op basis van een door haar vastgestelde onrendabele top.

Het zou daarom beter zijn om voor het duurzame energiebeleid en vooral ook de diverse stimuleringsregelingen onderscheid te maken in achtereenvolgens:

- a. Energiebesparing (gericht op consumenten);
- b. Energie efficiency (gericht op producenten);
- c. Inzet hernieuwbare bronnen (biomassa);
- d. Benutting onuitputtelijke bronnen (zon, wind, water).

Voor de AVI's is dan het beleid c.q. de maatregelen in categorie b relevant. Hun bijdrage in termen van vermeden fossiele brandstof of CO<sub>2</sub> is slechts van belang voor monitoring ten behoeve van het beleid of ter beoordeling van verschillende alternatieven voor verbetering van de energieprestaties. Dit onderzoek naar de AVI's, vooral het niet benutten van laagwaardige restwarmte, laat ook andere mogelijkheden zien. Namelijk verhogen van de energieheffingen of het invoeren van een heffing op thermische emissie of lozing. Uit de opbrengsten zou de infrastructuur voor benutting van de restwarmte kunnen worden gesteund<sup>38</sup>.

Wat betreft het verhogen van de energiebelasting zou naar analogie van de onrendabele top bij de SDE-regeling, een zodanige heffing bovenop op de marktprijzen kunnen worden gelegd dat er geen onrendabele top meer bestaat. Duurzaam geproduceerde energie wordt hiervan voor jaarlijks vast te stellen budget vrijgesteld. Deze heffing kan dan, afhankelijk van de ontwikkeling van de energieprijzen jaarlijks worden bijgesteld. Voor de investeerders in duurzame energie bestaat zo langjarige zekerheid over de rentabiliteit, voor de overheid wordt kosteneffectiviteit gewaarborgd.

### 8.1.5 Opzet en methode van onderzoek

#### Toepassing van de installatie-eigen rendementen en het WKK-diagram

Met het intrinsiek elektrisch thermisch rendement kunnen alle AVI's ten opzichte van hun ontwerp, elkaar, of hun prestaties in voorgaande jaren worden beoordeeld. Dit ongeacht de omvang van eventuele warmtelevering. Uit de ontwikkelingen van de installatie eigen rendementen en de CHPR blijkt of verandering van het WKK rendement het resultaat is van veranderingen in de installatie zelf, of het gevolg is van meer of minder warmtelevering;

---

<sup>38</sup> Het voorbeeld van de MEP voor de biomassa/energiecentrales laat zien dat bij een marktprijs circa € 140 per MWh de initiatiefnemers in de rij staan. Bij de huidige prijs van € 60 per MWh is dan een heffing van € 80 per MWh nodig. Voor een gemiddeld gezin (verbruik 3300 kWh/jaar) zou dat zonder compensatie een lastenverzwaring van € 265/jaar betekenen.



Daarnaast blijken de installatie-eigen rendementen en het WKK-diagram bruikbaar als juridisch beoordelingskader. Toepassing ervan hoeft zich niet alleen te beperken tot de AVI's, maar is bij voorbaat ook bruikbaar voor grote stookinstallaties.

De in hoofdstuk 4 gedefinieerde installatie-eigen rendementen zijn in ieder geval voor de AVI's bruikbaar gebleken om inzicht te krijgen in de werkelijke energieprestaties, ongeacht hoeveel warmte wordt geleverd.

#### Toepassing van de Root Cause Analysis

Vanuit het hoofdprobleem (hier de conclusie dat de intrinsieke rendementen niet zijn verbeterd) is op basis van de feiten zoals beschreven in hoofdstuk 5, middels het opstellen van oorzaak- en gevolgdigram beredeneerd wat daarvan de directe en de basisoorzaken zijn. Het diagram of feitenboom is zodanig geconstrueerd dat indien één van de basisoorzaken zou wegvallen, de hele "boom" omvalt. De conclusies met betrekking tot de directe en basisoorzaken van het falen van het convenant als het gaat om verbetering van de installatie-eigen rendement zijn daarmee feitelijk onderbouwd.

De methode van de Root Cause Analysis<sup>®</sup> (RCA) is in ieder geval in dit onderzoek bruikbaar gebleken voor het verkrijgen een breder en dieper inzicht in een beleidsrelevant onderzoeksprobleem.

#### Grondslag van de rendementsberekeningen

In dit onderzoek is heersende praktijk gevolgd door bij de berekening van de rendementen uit te gaan van de onderste verbrandingswaarde (LHV), in dit rapport ook stookwaarde genoemd. In het streven naar een (meer) duurzame energievoorziening is echter alle energie van belang en moet de discussie moet gaan over rendementen op basis van de bovenste verbrandingswaarde (HHV).

#### Exergierendement: doelmatigheid van de energielevering

Het WKK-diagram op basis van exergie laat het belang van een meer doelmatige energievoorziening zien. Aangevoerd is dat het begrip exergie voor energiestromen niet complex en ingewikkeld hoeft te zijn. Voor het verwerkte afval met een pragmatische benadering onderbouwd hoe de exergie van het verwerkte afval zelfs met een on-line te meten procesgrootte kan worden bepaald.

#### Beoordeling van AVI's als geheel i.p.v per installaties

In dit onderzoek zijn de AVI's als geheel op hun energieprestaties beoordeeld. Er zijn echter ook AVI's met verschillende oven, ketel en turbineconfiguraties, ieder hun eigen lijn in het WKK-diagram kennen. Voor een inschatting van het werkelijk (vereiste) verbeterpotentieel is daarom beoordeling per oven, ketel en turbine noodzakelijk.

### 8.1.6 Uitvoering van het onderzoek

Voor een beoordeling op basis van de genoemde installatie-eigen kentallen is een volledig inzicht in de stoom- en waterkringloop van een installatie noodzakelijk. Tenzij de kentallen door de bedrijven zelf (moeten) worden gerapporteerd is daarvoor vaktechnische kennis maar ook detailkennis van de installaties nodig.

Er is geen verplichting voor bedrijven om ontvangen subsidies en de besteding daarvan in bijvoorbeeld het financieel of milieujaarverslag te verantwoorden. Uit eigen beweging doen de AVI's (en ook andere bedrijven) dit ook niet. Dit terwijl het om publieke middelen gaat.

## 8.2 Eindconclusies

De centrale hoofdvraag van dit onderzoek luidt: Hoe kan het energierendement van de AVI's (verder) worden verbeterd? Deze vraag is uitgesplitst in twee subvragen A en B.

### 8.2.1 Resultaten van het tot nu toe gevoerde beleid voor de AVI's (subvraag A)

1. Het REB-convenant en de MEP-regeling hebben in ieder geval voor de bestaande AVI's niet tot verbetering van de installatie-eigen rendementen geleid. Met de SDE-regeling zal dat niet anders zijn. Net als de MEP-regeling stuurt de SDE-regeling uitsluitend aan op een

zo hoog mogelijk netto elektrisch rendement bij CHPR=0. Als eenmaal een zodanig intrinsiek elektrisch rendement door de AVI wordt gerealiseerd dat SDE-subsidie kan worden ontvangen, betekent levering van (meer) warmte minder inkomsten uit subsidie. De met warmtelevering gepaard gaande afname van de SDE-subsidie is voor een installatie met een hoog intrinsiek elektrisch rendement sterker dan voor een installatie met een lager intrinsiek elektrisch rendement. De bestaande AVI's worden bij voorbaat uitgesloten. Het tot op heden gevoerde beleid (REB- en MEP-regeling) heeft niet geresulteerd in verbetering van de energieprestaties van de AVI's, de SDE-regeling zal dat ook niet doen.

2. Met de REB-regeling is het gehele bedrag van 65 miljoen euro ondoelmatig besteed. Met de MEP-regeling is zeker 44 van de in totaal 98 miljoen euro subsidie uitgekeerd aan projecten die reeds waren gerealiseerd of onomkeerbaar waren. Met het REB-convenant en de MEP-regeling was voor de AVI's zogezegd sprake van een "free lunch".
3. De SDE-regeling zal geen effect op de energieprestaties van nieuwe of bestaande AVI's hebben.
4. Op basis van de uitgangspunten van dit onderzoek komt de door AVI's werkelijke hoeveelheid vermeden fossiele CO2 niet noemenswaard boven de nul uit.

#### 8.2.2 Uitgangspunten voor vervolgbeleid (subvraag B)

5. De IPPC-richtlijn biedt met de BREF Waste Incineration voldoende aangrijpingspunten voor het stellen van eisen ten aanzien van de in dit onderzoek gedefinieerde en toegepaste installatie-eigen rendementen. De eis ten aanzien van met name het bruto elektrisch rendement (12 – 18 %) staat niet in verhouding tot het vereiste ketelrendement en de minimale stoomdruk en temperatuur.
6. Daarvoor zijn de volgende in dit onderzoek gedefinieerde en toegepaste kentallen bruikbaar gebleken:
  - Ketelrendement
  - Intrinsiek bruto thermisch rendement
  - Intrinsiek netto thermisch rendement
  - Intrinsiek bruto elektrisch rendement
  - Intrinsiek netto elektrisch rendement
  - WKK-ratio of CHPR
7. Met behulp van het intrinsiek thermisch en elektrisch rendement (bruto, netto) kan voor iedere installatie een WKK- of CHPR - diagram worden geconstrueerd. Dit op basis van energie en exergie.
8. Ten behoeve van rechtsgelijkheid op zowel Europees niveau als binnen de lidstaten zelf, is het van belang dat eenduidigheid ontstaat in de juridische beoordelingskaders als het gaat om de terugwinning van energie uit afval.

#### 8.2.3 Overige bevindingen

9. Het bevorderen van terugwinning van energie uit afval vanuit het perspectief dat energie uit afval duurzaam is, heeft voor de AVI's niet bijgedragen aan een doelmatig beleid.
10. De AVI's zouden geen subsidie moeten krijgen ter verbetering van de installatie-eigen rendementen, aangezien dit strijdig is met het beginsel van vervuiler betaalt. Verbetering van de energieprestaties kan worden bereikt door:
  - a. Aanscherpen van eisen ten aanzien BBT op basis van de installatie-eigen rendementen en de kosten daarvan te verhalen op de vervuiler i.c. de ontdoener;
  - b. Uitsluitend nog aanleg van infrastructuur ten behoeve van warmtelevering (verhogen van de CHPR) door middel van subsidie op de investering te bevorderen.
11. Daarvoor is het noodzakelijk dat de discussie over het al dan niet duurzaam zijn van energie uit afval, i.c. het gehalte biomassa in het afval, wordt losgekoppeld van de vraag hoe de energieprestaties van de AVI's verbeterd kunnen worden.

12. Juridisch moet worden geborgd dat een installaties niet als nuttige toepassing kan worden aangemerkt of voor subsidie in aanmerking kan komen, zolang niet aan de eisen van BBT wordt voldaan.
13. De volgens het Protocol monitoring Duurzame Energie berekende bijdrage van de AVI's aan de productie van duurzame energie, geeft geen inzicht de werkelijke bijdrage in termen van vermeden (fossiele) brandstof of CO<sub>2</sub>.

### **8.3 Aanbevelingen**

#### **8.3.1 Voor beleid**

Naar aanleiding van de bevindingen met betrekking tot de hier behandelde onderzoeksvragen wordt aanbevolen om:

1. Bij de terugwinning en levering van energie door AVI's niet de bijdrage aan de productie van hernieuwbare of zelfs duurzame energie centraal te stellen, maar de efficiëntie en doelmatigheid waarmee dat gebeurt. Dit kan door uit te gaan van de installatie-eigen rendementen, het WKK-diagram in het bijzonder.
2. De installatie-eigen rendementen, het WKK-diagram in het bijzonder, toepassen bij het:
  - Formuleren van beleidsdoelstellingen;
  - Vaststellen van juridische randvoorwaarden (eenduidig Europees en nationaal beleid);
  - Optuigen en uitvoeren van eventuele subsidiemaatregelen.
3. Bij de beoordeling van een AVI, uitgaan van de afzonderlijke installaties. Dat wil zeggen per oven, ketel en turbineconfiguratie de installatie-eigen kentallen bepalen.
4. Bij het streven naar een meer duurzame energiehuishouding dient beleidsmatig onderscheid te worden gemaakt in bevordering van efficiency van energieproductie enerzijds en bevordering van inzet van hernieuwbare bronnen anderzijds.
5. Het juridisch te borgen dat, per installatie en op basis van kentallen, in het milieujaarverslag over de energieprestaties wordt gerapporteerd.
6. Het juridisch te borgen dat ontvangen subsidies in het financieel jaarverslag worden gerapporteerd en, indien het milieusubsidies betreft, de besteding ervan ook in het milieujaarverslag wordt verantwoord.
7. Te bevorderen dat op nationaal niveau, een openbaar subsidieregister wordt opgezet.

#### **8.3.2 Voor onderzoek**

1. Te onderzoeken in hoeverre het in dit onderzoek gedefinieerde en toegepaste beoordelingskader (installatie eigen kentallen, WKK-diagram), ook bruikbaar is voor grote stookinstallaties.
2. Te onderzoeken in hoeverre het in dit onderzoek gedefinieerde en toegepaste beoordelingskader, het WKK-diagram in het bijzonder, ook bruikbaar is voor beoordeling van de efficiency en doelmatigheid van (grote) consumenten van zowel elektrische als thermische energie.
3. Te onderzoeken wat de beleidsmatige implicaties zijn indien alle rendementseisen voortaan betrokken zouden worden op de bovenste verbrandingswaarde van de brandstoffen.
4. Te onderzoeken wat de beleidsmatige implicaties zijn indien behalve rendementseisen op basis van energie, ook rendementseisen op basis van exergie worden gesteld.

5. Het model voor de on-line bepaling van de verhouding tussen de exergie en enthalpie van het verwerkte afval middels een praktijktest op bruikbaarheid toetsen en valideren.
6. Het model voor de on-line monitoring van het gehalte biomassa in het verwerkte afval middels een praktijktest op bruikbaarheid toetsen en valideren.

## Referenties

AEB, Afval Energie Bedrijf van de Gemeente Amsterdam. (2003). Voorstel van het Afvalenergiebedrijf van de Gemeente Amsterdam aan het Ministerie van Economische Zaken en Tweede Kamer, inzake de concept MEP-regeling. Brief met kenmerk AEB-1397/MvB van 22 april 2003.

AEB, Afval Energie Bedrijf van de Gemeente Amsterdam. (2005). *Jaarverslag 2004*. Amsterdam: AEB, 2005.

AEB, Afval Energie Bedrijf van de Gemeente Amsterdam. (2006). *Meerwaarde uit afval*. Amsterdam: AEB, maart 2006.

AEB, Afval Energie Bedrijf van de Gemeente Amsterdam. (2008). *Jaarverslag 2007*. Amsterdam: AEB, 2007.

AEB, Afval energie Bedrijf van de Gemeente Amsterdam. (2005). *Groenfinanciering voor de HR-centrale*. Persbericht van 22 maart 2005 [www.afvalenergiebedrijf.nl](http://www.afvalenergiebedrijf.nl). Geraadpleegd op 23 september 2009.

Afval online. (2001). HR-AVI krijgt € 4,5 miljoen subsidie van noord-Holland. Geraadpleegd op 22 september 2009 <http://afvalonline.nl/bericht?id=6834>.

Afval Overleg Orgaan. (1995). *Tienjarenprogramma Afval*. Utrecht: AOO, 1995.

Afval Overleg Orgaan. (1997). *Meerjarenplan Gevaarlijke Afvalstoffen II, 1997–2007*. Utrecht: AOO, 1997.

Afval Overleg Orgaan. (1998); *Initiatieven voor thermischeverwerkingsmogelijkheden van hoogcalorische afvalstromen*. AOO publicatie 98-06. Utrecht: AOO, september 1998.

Afval Overleg Orgaan. (2000). *De afvalmarkt: structuur en ontwikkelingen*. Utrecht: AOO, maart 2000.

Afval Overleg Orgaan. (2001). *Informatiekatern Landelijk afvalbeheersplan 02*. (3e jaargang nr. 2). Utrecht: AOO, juni 2001.

Algemene Rekenkamer. (2007a). *Subsidieregeling "Milieukwaliteit elektriciteitsproductie"*. Evaluatierapport. Brief aan de Tweede Kamer (TK 31 028 nr. 1). 's-Gravenhage: Algemene Rekenkamer, 15 mei 2007.

Algemene Rekenkamer. (2007b). *Subsidieregeling "Milieukwaliteit elektriciteitsproductie"*. Evaluatierapport. Brief aan de Tweede Kamer (TK 31 028 nr. 1). (p. 64). 's-Gravenhage: Algemene Rekenkamer, 15 mei 2007.

Algemene Rekenkamer. (2007c). *Subsidieregeling "Milieukwaliteit elektriciteitsproductie"*. Evaluatierapport. Brief aan de Tweede Kamer (TK 31 028 nr. 1). (p. 50). 's-Gravenhage: Algemene Rekenkamer, 15 mei 2007.

AVR Afvalverwerking (2001). *Starnotitie en concept milieueffectenrapport uitbreiding thermische verwerkingseenheid*. Rozenburg: AVR, 2001.

AVR Afvalverwerking (2009). *Milieujaarverslag AVR - Afvalverwerking BV, vestiging Rozenburg*. AVR Afvalverwerking BV, april 2009.

Besluit van 16 oktober 2007, houdende regels inzake de verstrekking van subsidies ten behoeve van de productie van hernieuwbare elektriciteit, hernieuwbaar gas en elektriciteit opgewekt door middel van warmtekrachtkoppeling (Besluit stimulering duurzame energieproductie). Den Haag: Minister van Economische Zaken, 30 oktober 2007.

- Bressers H., De Bruin, T. & Dinica V. (2004). *Evaluatie van MJA2, Deel B: Evaluatie vanuit het perspectief van het MJA2-paltform*. Enschede: CSTM van de Universiteit Twente, oktober 2004.
- Bressers H., De Bruin T. & Lulolf K. (2004). *De evaluatie van de Nederlandse milieu-convenanten*. Beleidswetenschap, vol. 18, Nr. 3, 2004. pp. 242-270. ISSN 0921-1934
- Centraal Bureau voor de Statistiek (2009). *Vrijkomen en verwerking van afval per doelgroep, 1990-2007*. Geraadpleegd op 23 september 2009.  
<http://www.milieuennatuurcompendium.nl/indicatoren/nl0206-Vrijkomen-en-verwerking-van-afval-per-doelgroep.html?i=1-4>
- CE. (2001a). *Emissies uit bijstoken, verbranden en vergassen van niet gevaarlijke afvalstromen in vergelijking tot Bla en AVI*. Delft: CE, januari 2000.
- CE (2001b). *Elektriciteit uit AVI's*. Publicatie 01.5949.29. Delft: CE, november 2001.
- Centraal Bureau voor de Statistiek. (2009). *Duurzame energie in Nederland 2008*. (tabel 2.1.1). Den Haag/Heerlen: CBS, 2009.
- CertiQ (2009). <http://www.certiq.nl/infoproducent/registrerenbio/afval/>, geraadpleegd op 11 juli 2009.
- Convenant "Energie uit afval". *Evaluatie Convenant Energie uit afval*, (Bijlage D). Rapport 50251504-KPS/TPE 02-1090. Arnhem: KEMA, 30 juli 2002.
- De Beer, J.G., Kerksenmeekers, M.M.M., Aalbers, R.T.F., Vollenbergh H.R.J., Ossokina, J. De Groot, H.L.F. Mulder, P. & Blok, K. (2000). *Effectiviteit Energiesubsidies, Onderzoek naar de effectiviteit van enkele subsidies en fiscale regelingen in de periode 1998 – 1999*. Utrecht: Ecofys, december 2000, openbaar sinds januari 2002.
- De Bruin, T., Bressers, H., Lulofs K. & Van der Veer A. (2003). *Evaluatie Milieuconvenanten, eindrapportage*. Enschede: CSTM van de Universiteit Twente, maart 2003.
- De Groot, H.L.F., Mulder, P. & Van Soest, D.P. (2001). *Subsidizing the adoption of Energy-Saving Technologies*. OCFEB research memorandum 0201. Amsterdam: OCFEB, 2001.
- Didde R. (2000). *Europa verdeeld over duurzaamheid energie uit afval*, in: Afvalforum, september 2000. pp 4-6. VVAV: Utrecht, september 2000.
- Dijkgraaf E., Aalbers R.F.T. & Varkevisser M. (2001); *Afvalprijzen zonder grens; een analyse van de Nederlandse afvalverbrandingsinstallaties in een Europese markt*. (pag. 21). Onderzoekscentrum voor financieel en economisch beleid (OCFEB). Rotterdam: OCFEB, 20 maart 2001.
- Drenthe, Gedeputeerde Staten van. (2004): *Richtlijnen voor het milieueffectrapport afvalenergiecentrale op het europark te Coevorden*. Assen, 16 maart 2004.
- Energie Centrum Nederland (ECN). (1999). *De bijdrage van duurzame energie in Nederland tot 2020*. Petten: ECN, september 1999.
- Energie Centrum Nederland (ECN). (2001). *Energieverslag 2001*. Petten: ECN, 27 augustus 2002.
- ECN/KEMA. (2004). *Onrendabele toppen van duurzame elektriciteitsopties. Advies ten behoeve van de vaststelling van de MEP-subsidies voor de periode juli tot en met december 2006 en 2007*. ECN-publicatie C-04-101. Petten: ECN, november 2004.
- ECN/KEMA (2008). *Technisch-economische parameters van duurzame elektriciteitsopties in 2008-2009, eindadvies basbedragen voor de SDE-regeling*. (Pag. 41). ECN rapport ECN--E08-003. Petten: ECN, januari 2008.

- Ecofys. (1999). *Monitoring Protocol Duurzame energie*. (opgesteld in opdracht van NOVEM, sinds 2004 SenterNovem). Utrecht: Ecofys, 1999.
- Europese Commissie (2006). *Reference document on the best available techniques for Waste incineration*. <http://eippcb.jrc.es/reference/>. Augustus 2006.
- EVI Abfallverwertung B.V. (2009): <http://www.evi-europark.de/index.php?idtop=29&artikel=29>. Geraadpleegd op 16 augustus 2009.
- Fellner J., Cencic O. & Rechberger H. (2007). *A new method to determine the ratio of electricity production from fossil and biogenic sources in Waste-To-Energy plants*, in: Environmental Science Technology volume 41, no. 7. pp. 2579-2586.
- Gano, Dean L. (2003). *Apollo Root Cause analysis, a new way of thinking*. Apollonian Publications Yakima. ISBN 1-883677-01-7. Washington: 2003.
- Gemeenteraad Amsterdam; *Motie/amendement van de raadsleden Bijlsma en Balai inzake het tarief voor duurzame energie*. Raadstuk nr 708, najaar 1995.
- HVC Groep (2009). *Bio-energiecentrale*. Alkmaar: HVC, februari 2009.
- KEMA. (1998). *REB-AVI's*. Rapport 95112/KPG-PEN 98/3010 in opdracht van het Ministerie van economische Zaken (vertrouwelijk). Arnhem: KEMA, 10 februari 1998.
- KEMA. (2001). *Energieprestatie maat in de praktijk getoetst voor energie uit afval*. (AOO publicatie 2001-06). Arnhem: KEMA Power Generation & Sustainables, 25 oktober 2001
- KEMA. (2002a). *Evaluatie Convenant Energie uit afval*. Rapport 50251504-KPS/TPE 02-1090. Arnhem: KEMA, 30 juli 2002.
- KEMA. (2002b). *Evaluatie Convenant Energie uit afval*. Rapport 50251504-KPS/TPE 02-1090. (Pag 31 e.v.). Arnhem: KEMA, 30 juli 2002.
- KEMA. (2002c). *Evaluatie Convenant Energie uit afval*. Rapport 50251504-KPS/TPE 02-1090. (Pag 25). Arnhem: KEMA, 30 juli 2002.
- KEMA. (2002d). *Evaluatie Convenant Energie uit afval*. Rapport 50251504-KPS/TPE 02-1090. (Pag. 27). Arnhem: KEMA, 30 juli 2002.
- KEMA. (2002e). *Evaluatie Convenant Energie uit afval*. Rapport 50251504-KPS/TPE 02-1090. (Pag. 89). Arnhem: KEMA, 30 juli 2002.
- KEMA. (2004). *Milieu-effectrapport Biomassa-elektriciteitscentrale AVI Twente BV*. KEMA rapport 50351949-KPS/TPE 04-1004a. Arnhem: KEMA, 19 november 2004.
- KEMA. (2006). *Milieu-effectrapport Biomassa energiecentrale NV Afvalverwerking Rijnmond*. Arnhem: KEMA, januari 2006.
- Koppejan J. & De Boer-Meulman P.D.M. (2005). *De verwachte beschikbaarheid van biomassa in 2010*. Publicatienummer 2DEN05. Utrecht: SenterNovem, oktober 2005.
- Ministerie van Economische Zaken. (1974). *Eerste Energienota*. Den Haag: SDU, 1974.
- Ministerie van Economische Zaken. (1979). *Tweede Energienota*. Den Haag: SDU, 1979.
- Ministerie van Economische Zaken. (1995). *Derde Energienota*. Den Haag: SDU, 20 december 1995.
- Ministerie van Economische Zaken. (1996); *Brief van de Minister aan de voorzitter van de Vereniging van Afval Verbranders (VVAV)*. Den Haag, 4 maart 1996.
- Ministerie van Economische Zaken. (1997): *Brief aan de VVAV (thans VA)*. Den Haag, 30 juni 1997.

- Ministerie van Economische Zaken. (1997). *Duurzame energie in opmars, actie programma 1997-2000*. Den Haag, 4 maart 1997.
- Ministerie van Economische Zaken. (1997-1999). *Verslagen van bespreking tussen Rijksoverheid en VVAV (thans VA) inzake het Reb-convenant*. Den Bosch: VA, dossier REB-convenant.
- Ministerie van Economische Zaken. (1998). *“Pakketvoorstel EZ n.a.v. VROM voorstel voor tariefsinstrument voor het in ontvangst nemen van afvalstoffen in het concept- wetsvoorstel toekomstige organisatie afvalverwijderingstructuur”*, fax aan Afval Overleg Orgaan (AOO) d.d. 6 juli 1998.
- Ministerie van Economische Zaken. (1999). *REB-convenant*. Brief van de Minister aan de voorzitter delegatie namens de VVAV, met kenmerk E/EBD/DE/99006146. Den Haag: EZ, 18 februari 1999.
- Ministerie van Economische Zaken. (2005a). Brief (kenmerk E/EP/5026545) van de Minister van Economische Zaken van de voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal. Den Haag, 10 mei 2005.
- Ministerie van Economische Zaken. (2005b). *MEP subsidiebedrag afvalverbrandingstallaties*. Brief aan de voorzitter van de Tweede Kamer der Staten Generaal. Den Haag: minister van EZ, 22 december 2005.
- Ministerie van Economische Zaken. (2005c). *Wijziging van de Elektriciteitswet 1998 ten behoeve van de stimulering van de milieukwaliteit van elektriciteitsproductie*. Brief aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten Generaal (Kamerstuk 28 665 Nr. 65). Den Haag, 22 december 2005.
- Ministerie van Economische Zaken. (2008a). *Aanbieding concept ministeriële regelingen Stimuleringsregeling duurzame energie*. Brief aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten Generaal. Den Haag, 31 januari 2008.
- Ministerie van Economische Zaken. (2008b). *Brief van de minister aan de vaste kamer commissie voor Economische Zaken, d.d. 12 februari 2008*. Kamerstuk 31239.
- Ministerie van Economische Zaken. (2008c). *Regeling aanwijzing categorieën duurzame energieproductie 2008*. Staatscourant nr. 44 van 3 maart 2008, pag. 8.
- Ministerie van Economische Zaken. (2008d). *Algemene uitvoeringsregeling stimulering duurzame energieproductie*. Ministeriële regeling van 28 februari 2008. Staatscourant 3 maart 2008, nr. 44 / pag. 12.
- Ministerie van VROM. (1992). *Agenda 21, verklaring conferentie Verenigde Naties inzake Milieu & Ontwikkeling*. Rio de Janeiro: VROM, juni 1992.
- Ministerie van VROM. (1996). *Brief van de Minister aan de voorzitter van de VVAV*. Brief met kenmerk DGM/LE/E/JOLMBL 960116267. 's Gravenhage, 16 april 1996.
- Noordhoek F. (2001). *Het landelijk AfvalstoffenbeheersPlan*, in: Vakblad Afval, nummer 6. (p. 11-12). Utrecht: Noordhoek BV, september 2001.
- NOVEM. (jaartal onbekend). *Energiewinning uit afval en biomassa (EWAB)*. Programma brochure DV 3.5.158. Utrecht: NOVEM, datum publicatie onbekend.
- NOVEM. (2001a). *Uitwerking van het begrip energetisch rendement voor beleidstoepassingen*. Rapport 2EWAB 01.03. Utrecht: NOVEM, februari 2001.
- NOVEM. (2001b). *Handleiding bij het toepassen van het energetisch rendement voor beleidstoepassingen*. Rapport 2EWAB01.04. Utrecht: NOVEM, februari 2001.



- Ökopol. (2006). *The energy efficiency formula of Annex II of the waste framework directive, a critical review*. (p.10). Hamburg: Ökopol, juni 2006.
- Pfeiffer A.E. (2002). *Convenant "energie uit afval" verdient vervolg*. Vakblad Afval nr. 7, oktober 2002, p. 29-31.
- Pfeiffer A.E., Barkhuysen K. (2002). *Evaluatie Convenant energie uit Afval*. Opgesteld in opdracht van NOVEM, namens de Staat en VEREBA. KEMA, rapport 50251504-KPS/TPE 02-1090. Arnhem: KEMA, 30 juli 2002.
- Projectbureau CO2-reductieplan. (2000). *Projectenoverzicht CO2-reductieplan 1997 – 2000*. Zwolle: Projectbureau CO2-reductieplan, juli 2000.
- Rademakers P. et al. (1994); *Componenten voor installaties voor thermische afvalverwerking (inventarisatie en economische aspecten oververhitters)*. (vaststellen verbeterpotentiëel door toepassing betere materiaalsoorten). TNO project 13.2.4036. Bilthoven: Nederlands corrosie centrum (NCC), 30 augustus 1994.
- Raedthuys & Partners. (2009). *Nieuwsbericht*. geraadpleegd 22 juni 2009 op [http://www.raedthuys-partners.nl/nieuws\\_archief.asp?NieuwsID=624](http://www.raedthuys-partners.nl/nieuws_archief.asp?NieuwsID=624).
- Regeling van de Minister van Economische Zaken van 6 juni 2003, nr. WJZ 3019637, tot vaststelling van algemene uitvoeringsregels voor de subsidie voor de milieukwaliteit van de elektriciteitsproductie*. (Algemene uitvoeringsregeling milieukwaliteit elektriciteitsproductie). Artikel 10a.
- Regeling van de Minister van Economische Zaken van 13 december 2003, nr. WJZ 3072504, houdende vaststelling van de vaste bedragen per kWh ter stimulering van de elektriciteitsproductie voor het jaar 2005*. (Regeling subsidiebedragen milieukwaliteit elektriciteitsproductie 2005). Staatscourant 24 december 2003, nr. 249 / pag. 13.
- Richtlijn 96/61/EG van het Europees parlement en de raad van 24 september 1996 betreffende de geïntegreerde preventie en bestrijding van verontreiniging*. (IPPC Richtlijn). Straatsburg, 24 september 1996.
- Richtlijn 2001/77/EG van het Europees parlement en de raad van 27 september 2001, betreffende de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen op de interne elektriciteitsmarkt*. Brussel, 27 september 2001.
- Richtlijn 2008/98/EG van het Europees parlement en de raad van 19 november 2009 betreffende afvalstoffen en tot intrekking van een aantal richtlijnen*. (Kaderrichtlijn Afval). Straatsburg, 19 november 2008.
- Rijkema B., Temmink H., Potma A. & De Vries R. (2001). *AVI 2005: Evaluatie van huidige en toekomstige technologische ontwikkelingen voor de roosteroven voor het verbranden van huishoudelijk afval*. KEMA project 31827. Arnhem: KEMA, september 2001.
- Ringeling Prof. Dr. A.B. Westerveld G.L. & Hebly, prof.mr. J.M. (2007a). *Rapport van de externe onderzoekscommissie over de nieuwbouw van de hoog rendement afvalverwerkingsinstallatie van het Afvalenergiebedrijf van de gemeente Amsterdam*. (p. 53). September 2007.
- Ringeling Prof. Dr. A.B. Westerveld G.L. & Hebly, prof.mr. J.M. (2007b). *Rapport van de externe onderzoekscommissie over de nieuwbouw van de hoog rendement afvalverwerkingsinstallatie van het Afvalenergiebedrijf van de gemeente Amsterdam*. (p. 8). Amsterdam, september 2007.
- SenterNovem. (2005). *Statusdocument Bio-energie 2005*. Rapportage in het kader van het Actieplan Biomassa. Utrecht: SenterNovem, 16 november 2005.
- SenterNovem. (2006). *Protocol Monitoring Duurzame Energie update 2006*. Utrecht: SenterNovem, december 2006.

- SenterNovem. (2008). *Nederlands afval in cijfers*. Rapportage inzake de uitvoering van het afvalbeheer. Utrecht: SenterNovem, 2008.
- SenterNovem (2009a). <http://www.senternovem.nl/sde/>. Geraadpleegd op 12 augustus 2009.
- SenterNovem (2009b). [http://www.senternovem.nl/sde/veelgestelde\\_vragen/hernieuwbare\\_elektriciteit\\_mbv\\_van\\_afval\\_verbranding.asp#1](http://www.senternovem.nl/sde/veelgestelde_vragen/hernieuwbare_elektriciteit_mbv_van_afval_verbranding.asp#1). Geraadpleegd op 12 augustus 2009
- SenterNovem. (2009c). *Beschikking op Wob-verzoek*. Beschikking met nr. WOB2009003 (kenmerk brief ZSDE0914360). Utrecht: SenterNovem, 10 juli 2009.
- SenterNovem. (2009d). *Samenstelling van het huishoudelijk restafval: resultaten sorteeraanalyses 2008*. Utrecht: SenterNovem / Uitvoering Afvalbeheer, januari 2009.
- SenterNovem. (2009e). Geraadpleegd op 12 augustus 2009 [http://www.senternovem.nl/mmfiles/Definitieve%20correcties%20subsidie%20SDE%202008\\_tcm24-305022.pdf](http://www.senternovem.nl/mmfiles/Definitieve%20correcties%20subsidie%20SDE%202008_tcm24-305022.pdf).
- Stichting Natuur en Milieu. (1997). Brief aan de tweede kamer der Staten Generaal, kenmerk Mbo/av/97.088. 10 oktober 1997.
- TAUW. (2005). Milieueffectrapport Bio-energiecentrale NV Huisvuilcentrale Noord Holland. Deventer: TAUW, 12 november 2005.
- Tweede Kamer der Staten Generaal. (1979). Parlementair dossier 15 800 (Titel onbekend). Nr. 21. 's-Gravenhage, datum onbekend.
- Tweede Kamer der Staten Generaal. (1988). Parlementair dossier 20200 (Titel onbekend). Nr. 72. 's-Gravenhage, datum onbekend.
- Tweede Kamer der Staten Generaal. (1999). Brief van de Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Parlementair dossier 25 157 (Afvalverwijdering op korte en lange termijn). Nr. 6. 's-Gravenhage, 25 mei 1999.
- Tweede Kamer der Staten Generaal. (1996). *Brief van de Staatssecretaris van Financiën*. Parlementair dossier 24 250 (Wijziging van de Wet belastingen op milieugrondslag in verband met de invoering van een regulerende energiebelasting). Nr. 2. Den Haag, 6 mei 1996.
- Van Berlo M., Wandschneider J. (2001); *HR-AVI concept voor uitbreiding AVI-Amsterdam*. Presentatie symposium Euroforum, september 2001.
- Vereniging van afvalverbranders. (1996a); *Brief van de voorzitter aan de Minister van Economische Zaken*, kenmerk Z960155Nb/ja. Utrecht: VVAV, 1 februari 1996.
- Vereniging van afvalverbranders. (1996b). *Afvalverbranding en duurzame energie*. Interne nota n.a.v. de Derde Energienota. Utrecht, VVAV, 25 januari 1996.
- Vereniging van afvalverbranders. (1997). *Brief aan ministerie van EZ*, kenmerk V970671NB/vo. Utrecht: VVAV, 11 juli 1997.
- Vereniging van afvalverbranders. (1999). *Energie uit afval krijgt belastingimpuls*. Geraadpleegd 12 juni 2000 <http://www.vvav.nl/actueel/knipstel/juni99/afvalenerg.html>.
- Vereniging van Afvalbedrijven. (2004). *MEP geeft weer hoop*. Afvalforum p. 17. Den Bosch: VA, december 2004.
- Vereniging van Afvalbedrijven. (2006). *Niet alleen groen maar ook de poen*. Afvalforum p.20. Den Bosch: VA, maart 2006.
- Vereniging van Afvalbedrijven. (2007). *Energie uit afval 2007, Kansen voor een duurzame toekomst*. Den Bosch: VA, 15 februari 2007.

Van der Linde, dr. K.D. (1995). *Afvalverbranding in duurzaam perspectief*. Presentatie op het symposium "Afvall en energievoorziening", Amsterdam: 10 mei 1995.

Van Halen C.J.G., Hanekamp E., van Hilten O. & Zeevalkink J.A. (2000). Bedrijfseconomische en beleidsmatige evaluatie van elektriciteit- en warmteopwekking uit afval en biomassa. Rapport 2EWAB00.23 in het kader van het programma Energiewinning uit afval en biomassa (EWAB). Utrecht: NOVEM, december 2000.

VolkerWessels (2009):

[http://www.volkerwessels.com/bin/ibp.jsp?ibpDispWhat=object&ibpPage=S3\\_FocusPage&ibpDispWho=STNI\\_ITEMS%5E12488&ibpVersion=0&ibpZone=S3\\_NIEUWS&ibpDisplay=view&](http://www.volkerwessels.com/bin/ibp.jsp?ibpDispWhat=object&ibpPage=S3_FocusPage&ibpDispWho=STNI_ITEMS%5E12488&ibpVersion=0&ibpZone=S3_NIEUWS&ibpDisplay=view&)

Wardenaar J.C., Pfeiffer A. E. & Ploumen P.J. (1990). *Optimalisatie van energiebenutting bij afvalverbranding; deelstudie A, onderzoek in opdracht van NOVEM in het kader van het programma Energiewinning uit biomassa en afval (EWAB)*. NOVEM Rapport 92293-WPB 90-883A. Arnhem: KEMA, 19 december 1990.

Wassenaar J.A (2000). *Sustainability of the Potato Chain, A Thermodynamical approach*. Niet gepubliceerd Graduation report, TU Delft. Delft, november 2000.

Wet van 13 juni 1979, houdende regelen met betrekking tot een aantal algemene onderwerpen op het gebied van de milieuhygiëne. (Wet Milieubeheer). Den Haag, 13 juni 1997.

Wet van 23 december 1994, houdende vaststelling van de Wet belastingen op milieugrondslag. (invoering Wbm). [http://wetten.overheid.nl/BWBR0007168/geldigheidsdatum\\_24-09-2009](http://wetten.overheid.nl/BWBR0007168/geldigheidsdatum_24-09-2009), geraadpleegd op 22 september 2009.

Wet van 2 juli 2003, houdende regels met betrekking tot de productie, het transport en de levering van elektriciteit (wijziging Elektriciteitswet 1998 i.v.m. invoering MEP). Den Haag 2 juli 2003. Geraadpleegd op 22 september 2009  
[http://wetten.overheid.nl/BWBR0009755/tekst\\_bevat\\_milieukwaliteit/geldigheidsdatum\\_01-07-2003](http://wetten.overheid.nl/BWBR0009755/tekst_bevat_milieukwaliteit/geldigheidsdatum_01-07-2003).

Wellkink J.H. & Van der Koogh E. (2004a). *Energie uit afval en biomassa. Een handleiding bij het kiezen van methoden*. (p.14-21). Delft: DUP Satellite, augustus 2004.

Wellkink J.H. & Van der Koogh E. (2004b). *Energie uit afval en biomassa. Een handleiding bij het kiezen van methoden*. (p. 65). Delft: DUP Satellite, augustus 2004.

Wijdeven Sutmuller & Partners. (2000). *Statusrapport 1996-1999 Energie uit Afvalverbranding*, in opdracht van de Vereniging van Afvalverwerkers. Geldermalsen: WS & Partners, juni 2000.

## Afkortingen en begrippen

AEB	Afval energie bedrijf. Voorheen AVI-West van Gemeentelijke dienst afvalverwerking (GDA) van de gemeente Amsterdam.
AOO	Afval overleg orgaan. Thans onderdeel van SenterNovem.
ARN	Afvalverwerking regio Nijmegen. Afvalverbrandingsinstallaties te Weurt.
AVIRA	Afvalverwerkingsinstallatie Regio Arnhem. Thans AVR Afvalverwerking BV, vestiging Duiven.
AVR	Afvalverwerking Rijnmond, thans AVR afvalverwerking BV. Onderneming heeft verbrandingsinstallaties te Rotterdam-Botlek (Rozenburg), Rotterdam-Charlois (aan de Brielselaan) en in Duiven (voorheen AVIRA).
AZN	Afvalverwerking Zuid Nederland. Afvalverbrandingsinstallatie van Essent Milieu te Moerdijk.
CHPR	Combined heat and power ratio of WKK-ratio. De in dit onderzoek gedefinieerde verhouding tussen het werkelijk geleverd thermisch vermogen en het (theoretisch) maximal te leveren thermisch vermogen.
EVI	Europark verbrennungs installation. Installatie van VolkerWessels te Coevorden.
GA	Gevaarlijk afval
GEVUDO	Gemeentelijke vuilverbranding Dordrecht en omstreken. Thans HVC-Dordrecht.
GHA	Grof huishoudelijk afval
HTC	Hogen temperatuur- of chloorcorrosie Dit begrip omvat die corrosievormen welke door gasvormige, gesmolten of vaste fasen in het rookgas worden veroorzaakt op de wanden van de vuurhaard en ketelpijpen. Bij dit type corrosie wordt onderscheid gemaakt in vier mechanismen [TNO et al; 1994], met als gemeenschappelijk kenmerk dat ze voor de AVI's relevant zijn als gevolg van de aanwezigheid van chloor (15 – 1500 mg/nm <sup>3</sup> ) in het rookgas. Voor de AVI's wordt hoge temperatuur corrosie daarom ook wel aangeduid als chloorcorrosie.
HVC	Huisvuilcentrale Alkmaar. De HVC-groep heeft verbrandingsinstallaties in Alkmaar en Dordrecht. Deze laatste was voorheen de Gemeentelijke vuilverbranding Dordrecht en omstreken (GEVUDO).
MEP	Milieukwaliteit van de elektriciteitsproductie (hoofdstuk 6).
REB	Regulerende energiebelasting (hoofdstuk 5).
SDE	Stimuleringsregeling duurzame energie (hoofdstuk 7).
TCI	Thermische conversie installatie. Wervelbedoven van AVR Afvalverwerking BV, vestiging Duiven. Deze oven is speciaal gebouwd voor de verwerking van papierslib. Het restproduct, Topcrete <sup>®</sup> genoemd, wordt toegepast als vervanger voor cement.

**Ketelrendement** De mate waarin de toegevoerde brandstof in nuttig toepasbare stoom is omgezet (voor nieuwe installaties 80% of hoger). Hier functioneel ketelrendement. Dit is de geproduceerde stoom, voor zover niet gebruikt voor het instand houden van de eigen stoom-water kringloop, betrokken op de brandstof-input. Het betreft dus de enthalpie val over de turbine en condensor én alle stoom gebruikt in bijvoorbeeld de RGR, dus buiten de eigen centrale;

**Moratorium** Een In 1998 afgekondigd verbod op uitbreiding van verbrandingscapaciteit. Voor de oprichting van een nieuwe inrichting is, op basis van een MER, een vergunning krachtens de Wet milieubeheer vereist. Voor het verlenen van deze provinciale vergunning moet op basis van Wm artikel 8.35 e.v. door de Minister een verklaring van geen bedenkingen worden afgegeven. In geval van een verzoek zal VROM, daarbij in haar motivatie ondersteund door het AOO, deze verklaring niet afgeven. Praktisch betekent dit dat voor nieuwe installaties op basis van de roosteroven technologie geen vergunning krachtens de Wm wordt verleend. Daarbij werd een uitzondering gemaakt voor technieken als vergassing of wervelbedverbranding waarmee wel een elektrisch rendement van 30% netto gehaald zou kunnen worden.

**NOVEM** Nederlandse organisatie voor energie en Milieu, thans SenterNovem.

**Thermisch rendement** Bruto thermisch rendement: de verhouding tussen de netto hoeveelheid warmte (stoom) die aan de turbine wordt geleverd én de brandstof (voor een nieuwe installatie 75 á 80 %).

Netto thermisch rendement: het bruto thermisch rendement, gecorrigeerd voor het eigen verbruik aan elektrisch vermogen.

Intrinsiek thermisch rendement (bruto, netto): het rendement indien alle warmte aan derden geleverd zou zijn. Als het eigen verbruik aan stoom voor bijvoorbeeld de RGR nihil wordt, dan is dit rendement gelijk aan het functioneel ketelrendement.

**VAM** Vuilafvoermaatschappij. Thans Essent Milieu Wijster.

**Zon-PV** Photo Voltaïsch (uit zonlicht) opgewekte elektrische energie.

### **Omrekenfactoren**

1 GWh = 3,6 teraJoule [TJ] of  $3,6 \cdot 10^{-3}$  PJ  
1 PJ =  $10^{15}$  Joule [J]  
1 GWh = 3600 GigaJoule [GJ]

### **Chronologie**

1 juli 1999 REB-convenant treedt in werking.  
30 juni 2002 REB-convenant loopt af.  
1 juli 2003 Moratorium op verbrandingscapaciteit vervalt.  
1 juni 2005: Invoering stortverbod in Duitsland  
18 augustus 2006 subsidiebedragen van de MEP-regeling worden op nul gezet  
1 januari 2007: Nederlandse grenzen opengesteld voor Duits afval.  
5 september 2007 Wm-vergunning AVR Afvalverwerking, vestiging Rotterdam wordt door de RvS in haar geheel vernietigd omdat o.m. het ketelrendement niet aan de eisen van BBT voldeed.

**1. Interviews t.b.v. de evaluatie van het REB-convenant**

### B1.1 Geïnterviewde personen.

Sierhuis, W. (2000). Medewerker Beleid en Milieu AVI-West Gemeentelijke Dienst Afvalverwerking (thans AEB) en lid onderhandelingsdelegatie namens de Sector; interview, augustus 2000.

Hermens P. (2000). Hoofd afdeling preventie, inzameling, verwerking en afzet, Directie Afvalstoffen, DG Milieubeheer van het Ministerie van VROM en namen de Staat deelnemer aan de onderhandelingen over het REB-convenant. Interview, augustus 2000.

Egmond L. van (2000). Adviseur projecten en technologie HVC Alkmaar en lid van de onderhandelingsdelegatie namens de sector; interview, augustus 2000.

Pfeiffer E. (2000). Beleidsmedewerker NOVEM en adviseur van de Staat in het onderhandelingsproces; interview, augustus 2000.

Koenen H. (2000). Clustermanager Duurzame Energie Ministerie Economische Zaken, Voorzitter onderhandelingsdelegatie namens de Staat; interview, september 2000.

Ludikhuizen H. (2000). Directeur Afvalverwerking Zuid Nederland, namens de sector voorzitter van de onderhandelingsdelegatie. Interview, september 2000.

### B1.2 Vragenlijst.

1. Hoe zijn de onderhandelingen over het REB-convenant gestart?
2. Welke onderhandelingsprocedures werden overeengekomen?
3. Wat was volgens u de reden voor het onderscheid tussen Wbm artikel 36o en 36r (wel of niet als duurzaam erkennen van energie uit afval)?
4. Welk belang had de sector bij erkenning in zin van Wbm art. 36o?
5. Wat waren discussiepunten tijdens de onderhandelingen over het convenant?
6. Wat is voor u het effect van de beperkte looptijd van het convenant?
7. Heeft de sector zelf ook kostprijsberekeningen voor AVI-stroom laten maken?
8. In hoeverre hebben persoonlijke agenda's een rol gespeeld?
9. Hoe is de keuze voor 1997 als referentiejaar tot stand gekomen?
10. Wat waren de standpunten over het wel of niet meenemen van het eigen verbruik?
11. Hoe is het idee verlaten om uitsluitend de onrendabele top te financieren?
12. Wat waren discussiepunten over de in het convenant op te nemen controle en sanctiebepalingen?
13. Hoe hebt u (AVI) de doelstellingen van het convenant vertaald in bedrijfsdoelen?
14. Hoe vervulde de adviseur (NOVEM) vanuit uw perspectief haar rol?
15. Wat gebeurt er volgens u als de doeltelling van 23% meer energie uit afval niet wordt gehaald?
16. Wat was er gebeurd indien geen overeenstemming zou zijn bereikt?
17. Is er ook gesproken of gedacht aan en vervolg op het convenant?

**2. Afvalverbrandingsinstallaties in Nederland**



Tabel B2.1 Bestaande en reeds in aanbouw zijnde AVI's in NL<sup>39</sup>

	functie	Jaar van in bedrijf name	Ontwerp		Afvalinput (2006)				Energie rendement [%]					Omvang van de subsidieregeling in [ mln. euro]					
			aantal ovens	Stoom		water		stromen	[kton/jr]	n-ketel	N (CHPR=1)		N (CHPR=0)		WKK <sup>40</sup>	REB	MEP	SDE <sup>41</sup>	
				[° C]	[Bar]	[° C]	[Bar]				bruto	netto	bruto	netto					netto
AVR Rotterdam	AVI	1963	4	360	30	-	-	HHA, BA	388	70					12	12	4.4	-	-
AVR Rozenburg	AVI	1972	6	370	27	-	-	HHA, BA, GA	1106	70					12	44	14.1	-	-
	AVI	1995	1	410	40	-	-	HHA, BA, GA	224	80					20	20	-	-	-
HVC Dordrecht	AVI	1973	2	-	-	-	-	HHA, BA	120	0					-6	-6	-	-	-
	AVI	1992	2	400	40	-	-	HHA, BA	120	80					14	14	1.8	-	-
	AVI	2010	2	400	40	-	-	HHA, BA	275	nb							-	-	-
ARN Weurt	AVI	1987	1	400	40	-	-	RDF + ONF		80					15	15	4.5	-	-
	AVI	1997	1	400	40	-	-	RDF + ONF		80							-	-	-
AVR Duiven	AVI	1975	1	-	-	180 <sup>42</sup>	13	HHA, BA	120	80					-	-	-	1.8	-
	AVI	1975	2	400 <sup>43</sup>	40	-	-	HHA, BA	240	80					-	-	3.5	-	-
AEB Amsterdam	AVI	1993	4	415	43	-	-	HHA, BA, GA	840	80					22	24	12.9	Nee	-
	AVI	2007	2	460	100	-	-	HHA, BA, GA	520	87					(30) <sup>44</sup>	(30)	-	71	-
SITA Roosendaal	AVI	1976	2	-	-	105	5	HHA, BA	64	80					-	24	-	-	-
	AVI	2011	2	62	422	-	-	HHA, BA	450	n.b.					27		-	-	-
HVC Alkmaar	AVI	1995	3	400	40	-	-	HHA, BA	465	80					21	21	9.0	-	-
	AVI	2005	1	400	40	-	-	HHA, BA	250	80							-	-	-
Essent Wijster	AVI	1996	2	405	44	-	-	RDF + ONF	432	80					19	19	9.6	Nee	-
AZN Moerdijk	AVI	1997	3	400	100	-	-	HHA, BA	600	80					30	30	14,0	24	-
	AVI	2008	1	400	100	-	-	HHA, BA	250	Nb					(30)	(30)	-	-	-
Twence Hengelo	AVI	1997	2	415	43	-	-	HHA, BA	270	80					14	14	4.3	0.2	-
	AVI	2009	1	415	43	-	-	HHA, BA	250	nb	24	19.5			?		-	-	71
EVI Coevorden	AVI	2008	2	460	60	-	-	HHA, BA	365	nb	nb	nb	29	25	-	-	-	-	116
E-On Delfzijl	AVI	2009	1			-	-		275	n.b.	?	24	-	-	70	-	-	-	Nee
<b>Totaal / gem.</b>		-	<b>42</b>	-	-	-	-							<b>17</b>	<b>8</b>	<b>65</b>	<b>98</b>	<b>&lt; 187</b>	

<sup>39</sup> bron: Wijdeven & Sutmuller 2001, Werkgroep afvalregistratie (WAR) 2005, SenterNovem 2007

<sup>40</sup> Dit betreft het klassieke energetisch rendement, dat wil zeggen dat warmte even zwaar meetelt als elektriciteit.

<sup>41</sup> De uiteindelijk te verstrekken bedragen zijn voor de SDE niet bekend. Hier zijn de door SenterNovem gecommiteerde bedragen gegeven.

<sup>42</sup> De oven, oorspronkelijk voorzien van inspuitskoeling. Is in 1985 voorzien van een heet waterketel t.b.v. levering van stadsverwarming.

<sup>43</sup> De oven, oorspronkelijk voorzien van inspuitskoeling. Is in 1995 voorzien van een stoomketel t.b.v. de opwekking van elektriciteit

<sup>44</sup> Dit is het ontwerpendement. Omdat de installatie medio 2008 nog op gereduceerde stoomparameters wordt bedreven, is het elektrisch rendement tot nu toe beperkt gebleven tot circa 26% netto.

Tabel B2.2 met het oog op MEP subsidie gebouwde Biomassa energiecentrales (BEC's) in NL

Bedrijf	functie	Jaar van in bedrijf name	Ontwerp				afvalinput		netto energetisch rendement (ontwerp)				Omvang van de subsidieregeling in [ mln. euro]			
			aantal ovens	Stoom		water		stromen	[kton/jr]	n-ketel	Electr.	Therm.	totaal <sup>45</sup>	Reb	MEP	SDE <sup>46</sup>
				[° C]	[Bar]	[° C]	[Bar]									
HVC Alkmaar	BEC	2008	1					A en B-hout	170	n.b.	29	0	29	-	170	-
AVR Rozenburg	BEC	2008	1	460	63	-		A en B-hout	200	n.b.	> 27	0	27	-	150	-
Twence Hengelo	BEC	2008	1	460	63	-		A en B-hout	140	n.b.	> 27	0	27	-	140	-
<b>Totaal /gem.</b>			<b>3</b>								<b>27,7</b>	<b>0</b>	<b>27,7</b>	<b>-</b>	<b>460</b>	<b>-</b>

n.b. = niet bekend.

<sup>45</sup> Dit betreft het klassieke energetisch rendement, dat wil zeggen dat warmte even zwaar meetelt als elektriciteit.

<sup>46</sup> De uiteindelijk te verstrekken bedragen zijn voor de SDE niet bekend. Hier zijn de door SenterNovem gecommitteerde bedragen gegeven.



**3. Ontwerpendement van een AVI, kwantitatieve uitwerking**

### B3.1 Levering van elektriciteit

Indien uitsluitend elektriciteit wordt geleverd, dan geldt voor het bruto ontwerpement:

$$\eta_{bruto} = \eta_{el.bruto} \leq \eta_{thermisch,bruto} * \eta_{conversie, turbine} * \eta_{conversie, generator} \quad (B3.1)$$

#### a) Thermisch rendement

Voor het (bruto) thermisch rendement geldt:

$$\eta_{thermisch, bruto} = \eta_{ketel} - \frac{W_{eigen\ verbruik}}{Q_{brandstof} + Q_{ucht}} \quad (B3.2)$$

waarin:

$$\eta_{ketel} = \frac{Q_{stoom} - Q_{kvw}}{Q_{brandstof} + Q_{lucht}} \quad (B3.3)$$

Het hier gedefinieerde ketelrendement<sup>47</sup> is een maat voor de terugwinning van energie in de vorm van nuttig toepasbare stoom- of heet water én de toegevoerde brandstof. Het (bruto) thermisch rendement<sup>48</sup> is een maat voor de nuttig toepasbare warmte. Dat wil zeggen de warmte voor directe levering aan derden of voor het opwekken van elektriciteit.

#### b) Conversierendement van de turbine

In een turbine wordt thermische energie in mechanische energie omgezet. De wet van behoud van energie (eerste hoofdwet van de thermodynamica) doet echter geen uitspraak over de mogelijkheid om de (thermische) energie ook nuttig toe te passen. Zo kan alle mechanische of elektrische energie wel in thermische energie worden omgezet, omgekeerd kan warmte nooit volledig in arbeid worden omgezet. De verschillende vormen van energie (thermisch, elektrisch) zijn dus niet gelijkwaardig. Het theoretisch in kracht om te zetten deel van de energie heet exergie, het niet in kracht om te zetten deel anergie. Energie is gelijk aan exergie plus anergie.

Het *theoretisch* in kracht om te zetten deel van (thermische) energie wordt beschreven door het carnot-rendement, waarvoor geldt:

$$\eta_{carnot} = \left[ 1 - \frac{T_L}{T_H} \right] \quad (B3.4)$$

Het werkelijke conversierendement van de stoomturbine is echter lager. Ten eerste geldt het carnot-rendement voor reversibele kringprocessen. Dergelijke ideale processen komen in de praktijk niet voor. Verder vindt de omzetting van thermische naar mechanische energie niet alleen plaats op het temperatuurniveau bij intrede van de turbine, maar wordt een expansie-c.q. afkoelingstraject doorlopen. De thermodynamisch gemiddelde temperatuur van de stoom ligt daarom ergens tussen het niveau bij intrede respectievelijk uitrede van de turbine. Ten slotte is het ontwerp van een turbine nooit ideaal. Dat wordt gekwantificeerd middels het inwendig ( $\eta_{inw}$ ) en het mechanisch rendement ( $\eta_{mech}$ ).

Voor het conversierendement van de (één traps) turbine geldt daarom:

$$\eta_{turbine} = \int_{T_{in}}^{T_{uit}} \left( 1 - \frac{T_{uit}}{T_{in}} \right) dT * \eta_{inwendig} * \eta_{mechanisch} \quad (B3.5)$$

<sup>47</sup> De enthalpie van de verbrandingslucht is relevant voor zover deze lucht met stoom of heet water is voorverwarmd.

<sup>48</sup> In dit onderzoek wordt gesproken van bruto thermisch rendement indien (nog) geen rekening is gehouden met het eigen verbruik aan elektriciteit.

Of:

$$\eta_{turbine} = \left( 1 - \frac{T_{uit}}{\bar{T}} \right) * \eta_{inwendig} * \eta_{mechanisch} \quad (B3.6)$$

Waarin:

$$\bar{T} \approx \frac{T_{in} - T_{uit}}{\ln \frac{T_{in}}{T_{uit}}} \quad (B3.7)$$

c) Rendement van de generator

Voor de omzetting mechanische naar elektrische energie geldt:

$$\eta_{el./mech.} = \eta_{generator} * \cos(\varphi) \quad (B3.8)$$

Voor een nieuwe installatie is rendement van de generator circa 97%. De verhouding tussen het werkelijke en schijnbaar geleverde vermogen,  $\cos(\varphi)$  waarbij phi de fasehoek tussen de spanning en de stroom is, ligt de waarde tussen 0,98 en 1.

Invullen van 3.2, 3.4 en 3.6 in 3.1 geeft:

$$\eta_{bruto} \leq \eta_{ketel} * \left( 1 - \frac{W_{eigen\ verbr.}}{W_{produktie}} \right) * \left( 1 - \frac{T_{uit}}{\bar{T}} \right) * \eta_{inv.} * \eta_{mech.} * \eta_{gen} * \cos(\varphi) \quad (B3.9)$$

Voor het netto elektrisch rendement geldt:

$$\eta_{netto} \leq \eta_{el.netto} \leq \eta_{el.bruto} - \eta_{el.eigenverbruik} \frac{E_{eigen\ verbr.}}{Q_{brandstof} + Q_{lucht}} * 100\% \quad (B3.10)$$

Waarin:

$$\eta_{el.eigen\ verbruik} = \frac{E_{eigen\ verbr.}}{Q_{brandstof} + Q_{lucht}} * 100\% \quad (B3.11)$$

Ten gunste van het elektrisch rendement wordt daarom gestreefd naar een zo hoog mogelijk ketelrendement en een zo hoog mogelijke temperatuur van de stoom bij intrede van de turbine.

### B3.2 Levering van warmte

Indien de AVI uitsluitend warmte levert wordt het eigen verbruik aan elektrisch vermogen ingekocht. Het rendement gelijk aan het thermisch rendement (vgl. 3.2).

$$\eta_{bruto} \leq \eta_{th..bruto} \quad (B3.12)$$

Voor het netto energierendement geldt:

$$\eta_{netto} = \eta_{th.netto} \leq \eta_{th..bruto} - \frac{E_{eigen\ verbr.}}{Q_{in}} * 100\% \quad (B3.13)$$

Ten gunsten van het thermisch rendement wordt daarom gestreefd naar een zo hoog mogelijk ketelrendement ofwel een zo laag mogelijke rookgastemperatuur bij uitrede van de ketel.



**4. Energierendement van AVI's, beperkingen bij het ontwerp**



Het netto elektrisch rendement van een AVI's zonder uitkoppeling van warmte, ligt tussen de 20 en 22 % netto. Dit is laag ten opzichte van bijvoorbeeld een kolencentrale ( $n_{el} > 40\%$  netto) of stoom- en gasturbine (STEG) eenheid met een netto rendement van 55% of meer. Het lagere ontwerpvermogen van een AVI's wordt verklaard door drie factoren:

- a) Beperkt ketelrendement;
- b) Beperkt conversierendement van de turbine;
- c) Relatief hoog eigen verbruik aan warmte en elektriciteit.

#### *Ad a. Ketelrendement*

Vergeleken met een gasgestookte ketel is het ketelrendement van een AVI beperkt tot 80 á 85 procent, met name als gevolg van het relatief hoge schoorsteenverlies<sup>49</sup>. Dat heeft twee redenen:

- Om verslaking te vermijden moet de temperatuur in de vuurhaard worden beperkt tot circa 1150 °C (Wardenaar; Pfeiffer & Ploumen, 1990). Dit wordt bereikt bij een overmaat aan verbrandingslucht van circa 50% (luchtfactor  $\lambda = 1,5$ ) of meer. Vanwege de onregelmatige samenstelling van de brandstof is de luchtvermaat in de praktijk meestal nog hoger.
- Door aanwezigheid van met name  $SO_2$  (tot 30 mg/nm<sup>3</sup>  $SO_2$ ) moet de temperatuur van het rookgas bij uittrede van de ketel boven het zuurdauwpunt liggen. In een afval gestookte ketel ontstaat reeds bij 150 °C een zure nevel die zeer corrosief is voor het materiaal van de economiser (Rademakers, 1994). Ter vermijding van deze lage temperatuur- of zuurdauw-punt corrosie wordt voor de economiser een pijp wandtemperatuur van minimaal 160 °C aangehouden. Dat betekent dat bij ketelvoedingwater van 135 °C, het rookgas bij uittrede van de ketel niet kouder dan 180 °C mag zijn. Voor bestaande installaties varieert de temperatuur van het rookgas bij uittrede ketel van 180 tot 350 °C.

Omdat het zuurdauwpunt, niet alleen afhankelijk is van het zwavelgehalte maar ook van de zuurstofspanning in het rookgas, wordt ter vermindering van het schoorsteenverlies eerst gestreefd naar verlaging van de luchtfactor. Dit maakt vervolgens verlaging van de temperatuur van het rookgas bij uittrede van de ketel mogelijk. Verhogen van de temperatuur van het ketelvoedingwater is de laatste optie, aangezien dit een steeds groter oppervlak van de economiser vergt.

#### *Ad b. Elektrisch rendement*

Vergeleken met een kolen- of gasgestookte centrale is het conversierendement van de turbine van een AVI beperkt. Dat heeft een drietal redenen:

- Het afval bestaat voor een kwart uit onbrandbaar materiaal. Een deel daarvan wordt bij de verbranding als vlieg gas met het rookgas wordt meegevoerd. Omdat vlieg gas boven een temperatuur van 675 °C verweekt, moet het rookgas ter vermijding van vervuiling en corrosie van de ketelpijpen, reeds voor intrede van het convectiedeel tot 650 °C zijn afgekoeld (Wardenaar, Pfeiffer & Ploumen, 1990)(VROM, 2001). Het stralingsdeel van de ketel is daarom niet als oververhitter maar als verdampert ontworpen. Als gevolg van die niet ideale configuratie (gedeeltelijk mee- in plaats van tegenstroom) is de temperatuur van de oververhitte stoom begrensd op ongeveer 520 °C;
- De stoomtemperatuur wordt materiaaltechnisch verder beperkt door het risico van hoge temperatuur corrosie (HTC). Ter vermijding van deze HTC wordt de stoomtemperatuur beperkt tot circa 400 °C. Ter vergelijking: in een kolencentrale wordt stoom van 600 °C of hoger (180 Bar) inmiddels als stand der techniek beschouwd;
- In de AVI's, de HR-AVI van het afval energiebedrijf (AEB) uitgezonderd, wordt de hoge druk stoom in één turbinetrap afgewerkt. De beperking van de stoomtemperatuur betekent daardoor direct beperking van de stoomdruk, resulterend in een lager conversierendement van de turbine.

#### *Ad c. Eigen verbruik*

Voor een AVI bedraagt het eigen verbruik aan elektriciteit 4 tot 6 % van de energie-input. Dit is hoog in vergelijking met dat van bijvoorbeeld een kolencentrale (eigen verbruik is 2 á 3% van de energie input). Dit relatief hoge eigen verbruik is het gevolg van de mechanische complexiteit van de ovens en de uitgebreide(re) rookgasreiniging.

---

<sup>49</sup> De thermische verliezen door straling of afvoer van hete slak en vlieg gas zijn beiden beperkt tot circa 1% van de energie input

**5. Bestaande beoordelingscriteria voor de AVI's**

## B5.1 Klassiek energetisch rendement

Voor klassiek energierendement, hier het bedrijfsrendement genoemd, geldt:

$$\eta_{\text{energ.,netto}} = \frac{E_{\text{netto}} + W_{\text{netto}}}{Q_{\text{afval}} + Q_{\text{brandstof}}} = \eta_{\text{el.,netto}} + \eta_{\text{th.,netto}} \quad (\text{B5.1})$$

waarin:

$$\begin{aligned} E_{\text{netto}} &= \text{netto geleverd elektrisch vermogen in [GWh}_{\text{el}}] \\ W_{\text{netto}} &= \text{netto geleverd thermisch vermogen in [GWh}_{\text{th}}] \\ Q_{\text{afval}} &= \text{input aan afval (o.b.v. stookwaarde) in [GWh]} \end{aligned}$$

## B5.2 Quasi exergierendement: kwaliteitsfactor voor de geleverde warmte

Indien voor de geleverde warmte een kwaliteitsfactor wordt toegepast dan geldt voor het (quasi exergie) rendement:

$$\eta_{\text{ex}} = \eta_{\text{el}} + \beta * \eta_{\text{th}} \quad (\text{B5.2})$$

De in Nederland voor beleidsdoeleinden gehanteerde vaste factoren zijn

- Senter-regeling (VAMIL, EIA), Landelijk afvalbeheerplan (LAP), MEP-regeling:  $\beta = 2/3$*   
Bij het beoordelen van de prestatie van warmte-kracht eenheden in het kader van de regelingen vrije afschrijving milieu-investeringen (VAMIL) en de energie-investeringsaftrek (EIA) regeling, wordt het thermisch rendement of de geleverde thermisch vermogen met een vaste factor van 2/3 vermenigvuldigd.
- Variabele NOx-emissiegrenswaarden biomassaïnstallaties:  $\beta = 0,47$*   
Voor deze door het Centrum voor energiebesparing en schone technologie (CE) gedefinieerde factor<sup>50</sup> (CE, 2001a) is de verhouding tussen het elektrisch en het thermisch rendement van een standaard referentie als uitgangspunt genomen. Een STEG-eenheid voor de levering van elektrisch vermogen (conversierendement 54 %, transportrendement 80 %) en stadsverwarming voor de levering van thermisch vermogen (conversierendement 100%, transportrendement 93 %).
- Protocol Monitoring duurzame energie:  $\beta = 0,2$  of  $0,4$*   
In het in opdracht van NOVEM, EnergieNed en het CBS beschreven protocol voor monitoring van de duurzame energie in Nederland (Ecofys, 1999) wordt onderscheid gemaakt tussen levering van warmte op lage temperatuur (bijvoorbeeld stadsverwarming,  $\beta_{LT} = 0,2$ ) en de levering van warmte bij een hoge temperatuur (bijvoorbeeld stoom) aan de industrie ( $\beta_{HT} = 0,4$ ).

Behalve de vaste factoren zijn eind jaren '90 ook flexibele factoren voorgesteld (KEMA, 2000):

- $\beta =$  de verhouding in opbrengst van de geleverde warmte en die van elektriciteit*  
In deze methode wordt de verhouding tussen economische waarde van de geleverde warmte en elektriciteit als kwaliteitsfactor gehanteerd. De factor ligt globaal tussen de 0,35 en 0,45. Deze benadering zou haar oorsprong hebben in de gedachte dat het zo vastgestelde totaalrendement de economische afweging niet zou verstoren.
- $\beta = \eta_{\text{th.}} / \eta_{\text{el.}}$*

<sup>50</sup> De factor wordt ook gebruikt voor het vaststellen van energieprestatie op locatie (EPL). Een methodiek voor bedrijfsterreinen en industrieën die gelijkaardig is aan de energieprestatie-norm (EPN) welke wordt toegepast voor gebouwen

In deze variant wordt de factor bepaald als de verhouding tussen het elektrisch en het thermisch rendement. De gehanteerde rendementen kunnen die van de eigen installatie zijn of van een referentie. Omdat alleen bij een hoge stoomtemperatuur een hoog carnot-rendement mogelijk is, zou het elektrisch rendement tevens een maat zijn voor de kwaliteit van de eventueel geleverde warmte.

f. *Energieprestatie maat (EPM):  $\beta = \eta_{carnot}$*

De hierboven beschreven rendementen zouden tekort zou doen aan installaties die ook nuttig toepasbare producten uit afval of biomassa produceren. Door NOVEM is daarom in 2001 aan KEMA verzocht het begrip energetisch rendement alsmede de toepassing ervan nader uit te werken (NOVEM, 2001a; 2001b). Dit heeft geresulteerd in de energieprestatie maat (EPM), gedefinieerd als “de hoeveelheid nuttige energie die per eenheid toegevoerde energie als elektriciteit, warmte en of brandstof aan eindgebruikers wordt afgeleverd”. Voor de EPM geldt:

$$EPM = \frac{(E + \beta * W * B)_{\text{netto geleverd}}}{(Energie, brandstof)_{\text{in}}} \quad (B5.3)$$

Waarin:

- EPM = Energieprestatie maat in [%]
- E, W, B = elektriciteit, warmte en of brandstof. Netto geleverd wil hier zeggen opgewekt vermogen minus eigen verbruik en minus transportverlies
- $\beta$  = warmte kwaliteitsfactor, hier het carnot-rendement [-]
- Energie in = Energie of brandstof inzet in de keten (o.b.v. LHV)

De EPM geeft aan hoe efficiënt een keten voor de conversie van primaire energiebronnen of dragers naar secundaire energiedrager(s) is. De EPM is daarmee ook toepasbaar voor de productie van energie én alternatieve brandstoffen uit bijvoorbeeld afval of biomassa. Het criterium is toepasbaar op één installatie, maar ook een hele productieketen. Het heeft daarmee een groter bereik dan de hiervoor gedefinieerde rendementen.

De EPM is nog wel opgenomen in een handleiding van NOVEM (NOVEM, 2001a) maar heeft, voor zover bekend, nooit een formele status gekregen, althans niet voor wat betreft de AVI's.

### B5.3 Bijdrage duurzaam: vermeden fossiel en CO2

#### Convenant “Energie uit afval” (1999 – 2002)

In het convenant “Energie uit afval” werd de door AVI's te leveren prestatie uitgedrukt in termen van vermeden fossiel. In de eindevaluatie van het convenant (KEMA; 2002a), werd de ontwikkeling van bijdrage van de AVI's ook uitgedrukt in vermeden CO2.

a) *vermeden fossiel*

De hoeveelheid vermeden fossiel (convenant, eindevaluatie) werd berekend als:

$$\text{Vermeden fossiel [pJ]} = W_{\text{netto}} / 0,9 + E_{\text{netto}} / 0,4 \quad (B5.4)$$

Voor levering van warmte werd een olie- of gasgestookte ketel (groot vermogen) als referentie genomen ( $\eta_{\text{th}} = 90\%$ ), voor de levering van elektriciteit het gemiddelde van de kolencentrales ( $\eta_{\text{el.}} = 40\%$ ).

b) *Vermeden CO2*

De hoeveelheid vermeden CO2 (eindevaluatie) werd berekend als:

$$\text{CO2-vermeden} = E * 0,64 + W / 0,9 * 0,056 + \text{afval doorzet} * (0,35 - 0,33) \quad (B5.5)$$

De gehanteerde kentallen zijn:

- Uitstoot CO2 door centrales: 0,64 kg/kWh (SEP, gegevens voor centrales in 1998);
- Uitstoot CO2 door gasgestookte ketels: 56 kg/GJ warmte
- Rendement gasgestookte ketels: 90%

- Vermeden CO<sub>2</sub> door vermeden stort: 0,70 kg/kg afval. Bij een aandeel duurzaam van 50% komt dat overeen met 0,7 \* 0,5 = 0,35 kg/kg afval;
- Eigen uitstoot CO<sub>2</sub> wegens aandeel kunststof in het afval: 0,33 kg/kg afval.

### Monitoring protocol Duurzame Energie (1999 – heden)

Het monitoring protocol Duurzame energie schrijft voor hoe, onder andere voor de AVI's, de bijdrage aan de productie van duurzame energie en daarmee vermeden uitstoot aan fossiele CO<sub>2</sub> moet worden vastgesteld.

#### a) Bijdrage duurzame energie

De netto vermeden hoeveelheid primaire brandstof<sup>51</sup> wordt berekend als:

$$E_{prim} = \frac{W_h}{\eta_{ref}} + \frac{Eh * 3,6}{\eta_{ref}} - P * A_{hulp} \quad (B5.6)$$

waarin:

$E_{prim}$  = vermeden fossiel in TJ/jr

$P$  = percentage biogeen in het afval (2005: 47%)

$n_{-ref}$  = rendement van de referentie (90% voor gasgestookte ketel),

$E_{-ref}$  = CO<sub>2</sub> emissie van de referentie (aardgas gestookte ketel): 56 ton/Tj-primair.

= CO<sub>2</sub> emissie van de referentie (grote centrale): 592 ton/GWh-primair

$A_{-hulp}$  = Verbruik aan fossiele (ondersteuning-)brandstof

$W$  = netto geleverd thermisch vermogen [TJ/jr]

$E$  = netto geleverd elektrisch vermogen [GWh/jr]

$W_h$  =  $W * P$ , aandeel duurzame / hernieuwbare warmte

$E_h$  =  $E * P$ , aandeel duurzame / hernieuwbare elektriciteit.

Hier wordt rekening gehouden met zowel het aandeel fossiel in het afval<sup>52</sup>, als het eigen verbruik aan (fossiele) ondersteuningsbrandstof. Voor het rendement van de referentie voor de opwekking van elektriciteit wordt het landelijk gemiddelde (anno 2006: 43,1 % netto) gebruikt.

#### b) Vermeden CO<sub>2</sub>

De hoeveelheid vermeden CO<sub>2</sub> wordt berekend als:

$$CO2_{vermeden} = \frac{W_h}{\eta_{ref}} * e_{CO2-ref} + \frac{Eh * 3,6}{\eta_{ref}.A} * e_{CO2-tek} - e_{CO2-ref} * P * A_{hulp} \quad (B5.7)$$

waarin:

$W_h$  = Aandeel hernieuwbare c.q. duurzame warmte [GJ of GWh]

$E_h$  =  $E * P$ , aandeel hernieuwbare c.q. duurzame elektriciteit [GJ of GWh].

$\eta_{ref.th}$  = rendement van de referentie voor levering van warmte [%]

$\eta_{ref.el}$  = rendement van de referentie voor levering van elektriciteit [%]

$e_{CO2-ref}$  = specifieke CO<sub>2</sub>-uitstoot van de referentie voor levering  $E$  [ton CO<sub>2</sub>/GJ]

$P$  = fractie hernieuwbaar in de brandstof [%]

$A_{hulp}$  = Ondersteuningsbrandstof (fossiel)

De uitgangspunten van het Monitoring protocol DE (update 2002) zijn:

- Vermeden CO<sub>2</sub> elders: 0,547 kg/Kwh<sub>e</sub> of 56 kg/Kwh<sub>th</sub> (2000);
- Correctie voor uitstoot fossiele CO<sub>2</sub> door AVI: 0,28 ton / ton nat afval;

<sup>51</sup> Senter-Novem 2006. Monitoring protocol duurzame energie, update december 2006

<sup>52</sup> Vast te stellen op basis van bijvoorbeeld sorteerproeven.

**6. Exergie van fossiele en thermische energie**

## B6.1 Exergie van thermische en fossiele energie

Voor alle primaire energiedragers of materiaalstromen geldt:

$$Ex = (H - H_0) - T_0 * (S - S_0) + E_{kin} + E_{pot} \quad (B6.1)$$

De exergie van een materiaal of energiestroom bevat dus een fysisch-chemische, kinetische en potentiële component. Indien de kinetische en potentiële energie wordt verwaarloosd geldt:

$$Ex = (H - H_0) - T_0 * (S - S_0) \quad (B6.2)$$

Waarin:

$T_0$	=	standaard referentietemperatuur (bijvoorbeeld 15 °C) in [K].
$H$	=	enthalpie van de verse stoom of heet water
$S$	=	entropie van de verse stoom of heet water
$H_0$	=	enthalpie van de stoom of water bij de $T_0$
$S_0$	=	entropie van de stoom of water bij $T_0$ (en $P_0$ )

Voor energiedragers als heet water, stoom of brandstoffen kan exergie dus worden berekend op basis van de enthalpie en de entropie<sup>53</sup> en de referentietemperatuur.

## B6.2 Exergie van thermische energie

De laagste temperatuur waarbij, zonder arbeid, nog warmte kan worden afgevoerd is de omgevingstemperatuur ( $T_0$ ). Indien deze  $T_0$  wordt gebruikt in de vergelijking voor het carnot-rendement, dan geeft dit de arbeid die theoretisch uit een hoeveelheid energie kan worden verkregen. Voor de exergie van een hoeveelheid warmte met temperatuur  $T_H$  geldt dan op basis van het carnot-rendement:

$$\eta_{carnot} = \left[ 1 - \frac{T_0}{T_H} \right] \quad (B6.3)$$

De exergie van de warmte wordt dus bepaald door het verschil tussen de temperatuur van het medium en de als referentie gekozen omgevingstemperatuur.

Net als bij de turbine geldt ook hier dat bij levering of overdracht van thermische energie, de gemiddelde temperatuur waarbij de warmte overdracht plaatsvindt, lager is dan de temperatuur van de verse stoom. In de warmtewisselaar treedt dan ook verlies van exergie op. Voor de werkelijke kwaliteit van oververhitte stoom of heet water geldt daarom:

$$\beta_{stoom} = \frac{Exergie}{Enthalpie} = \frac{(H - H_0) - T_0 * (S - S_0)}{(H - H_0)} < \eta_{carnot} \quad (B6.4)$$

Ofwel

$$\beta_{stoom} = \frac{Exergie}{Enthalpie} = 1 - \frac{T_0 * (S - S_0)}{(H - H_0)} < \eta_{carnot} \quad (B6.5)$$

De kwaliteitsfactor volgens B6.4 neemt ook toe met de temperatuur, maar is lager dan op basis van het carnot-rendement volgens B6.3 verwacht zou worden.

**Opmerking:** in publicaties (rapporten) of bijvoorbeeld de energieprestatiegraad (par. 3.3.2) wordt ter bepaling van het rendement, voor de exergie van stoom of heet water ook wel het carnot-

<sup>53</sup> De vergelijking komt overeen met die voor de Gibbs- of vrije energie. Voor de berekening daarvan wordt echter de elementaire toestand als referentie genomen, voor de exergie is de toestand met de laagste enthalpie, d.w.z. de meest stabiele vorm waarin een element in de natuurlijke omgeving voorkomt: ijzer in de vorm van ijzeroxide i.p.v. ijzer en zuurstof et cetera. Het referentiesysteem voor de exergie wordt ook wel het "environmental reference system" (ERS) genoemd. Het ERS is niet eenduidig bepaald, maar een kwestie van definitie. De atmosferische druk en temperatuur maken er in ieder geval deel van uit.

rendement toegepast. Dit is dus niet correct. Immers, toepassen van de carnot-factor als maat voor de exergie van geleverde warmte is feitelijk definiëren van hoe effectief een warmtelevering theoretisch had kunnen zijn in plaats van hoe doelmatig zij in werkelijkheid is. Overigens kan de thermodynamisch gemiddelde temperatuur worden berekend door de uitkomst van B5.4 in te vullen in B5.3.

### B6.3 Fossiele brandstoffen

Technische brandstoffen bestaan vaak uit mengsels van complexe verbindingen.

Szargut heeft voor dergelijke energiedragers een empirische relatie tussen de stookwaarde<sup>54</sup> of LHV en de (chemische) exergie ontwikkeld (Wassenaar, 2001):

$$Ex_{chem, LHV} = \beta_i * LHV_i \quad (B6.6)$$

Waarin:

$Ex_{chem, LHV}$	=	Exergie o.b.v. stookwaarde in [GJ/ton]
$\beta_i$	=	kwaliteitsfactor van de energie [-]
$LHV_i$	=	stookwaarde van brandstof i [GJ/ton]

In tabel B6.1 zijn de door Szargut gevonden waarden voor fossiele brandstoffen weergegeven.

Tabel B6.1.  $\beta$ -waarden voor technische brandstoffen en elektriciteit, voor het bepalen van de Exergie-waarde gebaseerd op de stookwaarde (Wassenaar, 2000).

Energiedrager:	B-waarde o.b.v LHV (Szargut)	$\beta$ -waarde o.b.v. HHV (dit onderzoek)
Natural gas	1,0500	0,95
(fuel)oil	1,0700	1,01
(hard) coal	1.0485	1.02

Voor technische brandstoffen zijn de door Szargut empirisch vastgestelde Bèta's allen groter dan één. Een daarmee berekende exergie is getalsmatig misschien niet onjuist, maar suggereert wel dat uit een materiaalstroom meer arbeid gehaald zou kunnen worden dan er aan energie in zit. Dit is strijdig met zowel de eerste als de tweede hoofdwet van de thermodynamica. Dit komt doordat de waarden zijn gebaseerd op de LHV in plaats van de HHV.

Gesteld dat in het streven naar een duurzame energiehuishouding alle energie relevant is, zou weergave op basis van de HHV meer geëigend zijn. Uitgaande van het verschil tussen HHV en LHV (voor aardgas  $\pm 10\%$ , voor olie  $\pm 6\%$  en voor steenkool  $\pm 3\%$ ) blijken de door Szargut vastgestelde factoren ook te voldoen aan de vuistregel voor vaste en vloeibare brandstoffen. Namelijk dat de exergie ongeveer gelijk is aan de HHV, ofwel,  $\beta_{HHV} \approx 1$ . Dit is in de laatste kolom weergegeven.

### B6.4 Afval

Zoals hierboven beschreven geldt voor fossiele brandstoffen dat de exergie ongeveer overeenkomt met bovenste verbrandingswaarde. Volgens die redenering zou de exergie van het afval overeenkomen met het op basis van samenstelling gewogen gemiddelde van de waarden voor onder meer de verschillende kunststoffen.

Afval is echter een niet homogeen mengsel van restproducten waarvan de samenstelling en kwaliteit onbekend zijn. Volledig scheiden in oorspronkelijke materialen zou, voor zover technisch al uitvoerbaar, veel arbeid en wellicht ook energie kosten. Thermodynamisch gezien is sprake

<sup>54</sup> Voor de brandstofwaarde wordt onderscheid gemaakt in de bovenste verbrandingswaarde of Higher Heating value (HHV) en onderste verbrandingswaarde of Lower heating value (LHV) ook wel stookwaarde genoemd. Het verschil tussen de HHV en LHV is de condensatiewarmte van het bij de verbranding vrijgekomen water.



van een hoge mate van wanorde, de entropie lijkt maximaal, de exergie is wellicht laag. De is nu wat de exergie van het in de AVI's verwerkte afval is. Zie bijlage 7 voor de uitwerking daarvan.

**7. Exergie van het thermisch verwerkte afval**

## B7.1 Exergie van afval

Indien gedefinieerd als een niet meer te scheiden of anderszins nuttig toepasbare reststroom, dan blijft voor afval alleen de optie van thermische conversie met terugwinning van energie over. Een benadering op basis van de energie inhoud middels verbranding ligt dan voor de hand.

Als de temperatuur en druk van de verbrandingslucht gelijk zijn aan die van de omgeving, dan is de enthalpie toename van het afgas en de slak gelijk aan de energie-inhoud van de toegevoerde brandstof. Anders gezegd: de vrijkomende chemische energie wordt benut voor opwarming van de verbrandingsproducten. De verbrandingstemperatuur is maximaal bij:

- Volledige verbranding (alle chemische energie wordt omgezet in thermische energie);
- Stoichiometrische luchttoevoer (overmaat verbrandingslucht is nihil);
- Adiabatische condities (geen uitwisseling van energie met de omgeving)

Voor een AVI is het energieverlies als gevolg van onvolledige verbranding verwaarloosbaar (circa 0,1 % van de energie-input. Het verlies door afvoer van hete slak is in de praktijk beperkt tot circa 1%. Bij een ideaal geïsoleerde ketel wordt dan nagenoeg alle verbrandingswarmte benut voor de opwarming van het rookgas. Ofwel, de maximale rookgastemperatuur, hier gelijk aan de maximale verbrandingstemperatuur, is een maatgevend voor de kwaliteit van de oorspronkelijke brandstof.

Voor de exergie van de brandstof, in dit geval afval, geldt dan:

$$Ex_{afval} = \beta_{afval}^{HHV} * HHV_{afval} \quad (B7.1)$$

met:

$$\beta_{afval}(HHV) = \left[ 1 - \frac{T_o}{T_{afval}} \right] \quad (B7.2)$$

Met:

$Ex_{afval}$  = Exergie van het afval [GJ/ton]

$\beta_{afval}(HHV)$  = Verhouding tussen exergie en bovenste verbrandingswaarde

$T_o$  = referentietemperatuur [k]

$T_{afval}$  = karakteristieke temperatuur van het afval als brandstof [k]

## B7.2 Toepassing HHV in plaats van stookwaarde

In het afval aanwezig vocht is van invloed op zowel de hoogte van de stookwaarde als de bovenste verbrandingswaarde. Bij de verbranding vrijkomende waterdamp is alleen van invloed op het verschil tussen deze twee. Bij gelijkblijvende verbrandingswaarde resulteert natter afval behalve in een lagere stookwaarde ook in een lagere maximale vuurhaardtemperatuur: de exergie ofwel de kwaliteit van natte brandstof is minder dan die van droog materiaal. Zou de exergie net als de maximale vuurhaardtemperatuur worden berekend op basis van de stookwaarde, zou dit effect niet tot uiting komen.

Toepassing van de HHV in plaats van de LHV heeft behalve een fysische heeft ook een ecologische reden. In het streven naar een (meer) duurzame energiehuishouding is alle terug te winnen energie relevant, dus ook de condensatiewarmte van de in het rookgas aanwezige waterdamp. Dit geldt voor zowel de waterdamp die is ontstaan als reactieproduct bij de thermische conversie als die welke afkomstig is van het reeds in het afval aanwezige vocht.

Ter bepaling van de exergie van de ingaande brandstoffen wordt hier, in afwijking van Szargut (bijlage 6) daarom niet de stookwaarde (LHV) maar de bovenste verbrandingswaarde (HHV) als uitgangspunt genomen.

### B7.3 Keuze van de brandstofkarakteristieke temperatuur

Voor  $T_0$  wordt de (jaar)gemiddelde omgevingstemperatuur van 15 °C genomen. Voor de brandstofkarakteristieke temperatuur zijn echter verschillende waarden mogelijk:

- *Adiabatische vuurhaardtemperatuur*  
Deze maximale vuurhaardtemperatuur wordt bereikt bij stoichiometrische verbranding. In de praktijk komt verbranding zonder echter niet voor. In bijlage 8 is daarom afgeleid hoe deze waarde uit een in de praktijk gemeten vuurhaardtemperatuur en restgehalte zuurstof kan worden bepaald<sup>55</sup>. Voor het in de AVI's verwerkte afval ligt deze temperatuur tussen de 1500 en 1600 °C, zeg 1550 °C ( $\beta = 0,84$ ). Rekening houdend met het verlies aan warmte via de slakafvoer (stel 1% van de brandstofinput), is de  $\beta$ -waarde voor het in AVI's verwerkte afval ongeveer 0,85.
- *Werkelijke vuurhaardtemperatuur*  
Ter vermijding van verslakking op het rooster en in de vuurhaard, mag de temperatuur in de vuurhaard niet hoger worden dan circa 1100 °C ( $\beta = 0,78$ )
- *Temperatuur bij intrede convectie*  
Vanwege de verweking van vlieggas boven de 675 °C, moet de temperatuur van het rookgas bij intrede convectiedeel van de ketel lager zijn dan 650 °C ( $\beta = 0,68$ ).
- *Thermodynamisch haalbare stoomtemperatuur*  
Vanwege de niet ideale tegenstroom configuratie van de ketel, namelijk de verdamper vóór de oververhitter, is de temperatuur van de stoom thermodynamisch beperkt tot circa 520 °C ( $\beta = 0,64$ ).
- *Materiaaltechnisch haalbare stoomtemperatuur*  
Vanwege de aanwezigheid van chloor in het rookgas, is de temperatuur van de stoom bij toepassing van de gangbare materialen beperkt tot circa 480 °C ( $\beta = 0,62$ ). Voor hogere temperaturen zouden bijzondere (nog niet bestaande) legeringen moeten worden toegepast.

De beperking van stoomtemperatuur als gevolg van de noodzakelijke temperatuurgradiënten is voor een fundamenteel begrip als exergie niet relevant. Uitgezonderd de beperking van de vuurhaardtemperatuur, houden de beperkingen verband met de samenstelling van de brandstof, het gehalte aan verontreinigingen daarin in het bijzonder. De beperking van de stoomtemperatuur ter vermijding van hoge temperatuurcorrosie is wel het gevolg van aanwezigheid van chloor in het afval, maar zou door toepassing van bijzondere ketelmateriaal kunnen worden opgeheven. Ze wordt hier dan ook beschouwd als technisch van aard.

De beperking van de verbrandingstemperatuur ter vermijding van slakaangroei in de vuurhaard, verweking van de vlieggas of de niet volledige tegenstroomconfiguratie van de ketel zijn echter niet met technische maatregelen op te heffen. Althans niet zonder voorbehandeling van het afval. Op basis van dit onderscheid naar de aard van de beperkingen - brandstof dan wel technologie gerelateerd - moet voor berekening van de exergie dan tenminste de maximale temperatuur bij intrede convectiedeel van de ketel (650 °C,  $\beta = 0,68$ ) worden genomen.

Het onderscheid naar aard van de beperking kent echter twee bezwaren: ten eerste is het onderscheid slechts geldig voor zover het afval in wordt verwerkt in een roosteroven, wervelbed-oven of -vergasser. De beperking van de temperatuur bij intrede convectie deel van de ketel zou in theorie kunnen worden opgeheven door verwijdering de vlieggas vóór het convectiedeel van de ketel, een technische maatregel. Anderzijds zou het afval, mits voorbereid en ontdaan van chloorhoudende stoffen en niet brandbare fracties, net als minder vuile stromen of biomassa ook in een kolencentrale kunnen worden bij- of mee gestookt. Ten

---

<sup>55</sup> Gelet op de definitie van exergie wordt hierbij aangenomen dat voor de benodigde zuurstof, omgevingslucht met daarin 21 % O<sub>2</sub> wordt aangewend in plaats van met zuurstof verrijkte verbrandingslucht.

tweede gaat het criterium niet alleen voorbij aan de fundamentele betekenis van het begrip exergie maar, gelet op het streven naar een duurzame energiehuishouding, ook aan haar maatschappelijke betekenis. Immers, naast benutting van de energie-inhoud is ook optimale benutting van kwaliteit van de energiedragers van belang. De nu beschikbare of toepasbare technologie mag daarbij geen rol spelen. Slechts door het openhouden van alle mogelijke toekomstige technologische ontwikkelingen wordt zichtbaar in hoeverre die duurzaamheid werkelijk is bereikt<sup>56</sup>.

Voor de berekening van de exergie van het afval wordt hier daarom niet de technisch haalbare temperatuur bij intrede convectiedeel van de ketel maar de maximale vuurhaardtemperatuur (1550 °C,  $\beta_{HHV} = 0,85$ ) als uitgangspunt voor berekening genomen.

Voor huishoudelijk afval zijn middels praktijkproeven de stookwaarde, verbrandingswaarde en de variantie van beide grootheden bepaald (o.m. Wijdeven & Suttmuller, 1996). Daarbij bleek de verhouding tussen stook- en verbrandingswaarde steeds tussen de 0,84 en 0,86 te liggen.

**Uitgaande van de maximale vuurhaardtemperatuur van circa 1550 °C ( $\beta_{HHV} = 0,85$ ) en gelet op de betrouwbaarheid van stookwaarden (variantie > 1 %), komt de exergie van het in de AVI's verwerkte afval, getalsmatig overeen met de stookwaarde (LHV) van het afval. Ten behoeve van dit onderzoek wordt de exergie van het afval verondersteld gelijk te zijn aan de onderste verbrandingswaarde of stookwaarde van het afval.**

### **B6.3 Conclusie**

De exergie van afval is lager dan op grond van de oorspronkelijke componenten of de bovenste verbrandingswaarde verwacht zou worden. Dit verschil tussen de HHV en de hier bepaalde exergie wordt verklaard doordat verschillende (verontreinigde) materialen bij elkaar in de "grijze bak" werden gedeponerd, resulterend in een toename van de entropie c.q. verlies van exergie.

Anderzijds geldt ook voor thermische conversie dat het rookgas in de ketel een afkoelingstraject doorloopt, en de thermodynamisch gemiddelde temperatuur van het afgas ongeveer de helft is van de maximale vuurhaardtemperatuur. Ofwel  $T_{afval} = 725$  °C ( $\beta_{HHV} = 0,70$ ). Toepassen van de hierboven vastgestelde kwaliteitsfactor voor afval ( $\beta = 0,85$ ) representeert daarmee zowel technologisch als thermodynamisch de meest conservatieve benadering.

---

<sup>56</sup> In het hier geschetste dilemma wordt feitelijk onderscheid gemaakt tussen een theoretisch relevante en een technisch relevante exergie. Verdere discussie daarover valt buiten de scope van dit onderzoek.

**8. Bepaling adiabatise vuurhaardtemperatuur bij afvalverbranding**

In deze bijlage wordt afgeleid hoe op basis van continu gemeten procesgrootheden en de adiabatische vuurhaardtemperatuur bij stoichiometrische condities kan worden bepaald en hoe daaruit vervolgens de thermische exergie van het afval kan worden berekend.

Voor de energiebalans van een willekeurig verbrandingsproces geldt:

$$\text{Accumulatie} = \text{Energie in} - \text{energie uit} \quad (\text{B8.1})$$

Bij een stationair verbrandingsproces geldt:

$$\text{Energie in} = \text{energie uit} \quad (\text{B8.2})$$

Ingevuld voor de vuurhaard is dit:

$$\dot{m}_b * LHV_{afval} = \dot{m}_{rookgas} * Cp_{RG} * (T_{vuurhaard} - T_0) + \dot{m}_{slak} * Cp_{slak} * (T_{slak} - T_0) \quad (\text{B8.3})$$

waarin:

$$\dot{m}_{rookgas} = \dot{m}_b - \dot{m}_{slak} + \dot{m}_{lucht} = \dot{m}_b (1 - x_{slak} + \lambda * M_{lucht}) \quad (\text{B8.4})$$

Met:

$\dot{m}_b$	=	massastroom brandstoftoevoer (afval) [kg/s]
$\dot{m}_{rookgas}$	=	massastroom rookgasafvoer [kg/s]
$\dot{m}_{slak}$	=	massastroom slakafvoer [kg/s]
$Cp_{RG}$	=	soortelijke warmte van het rookgas (RG) en slak [kJ/kg.K]
$T_{vuurhaard}$	=	vuurhaardtemperatuur [°C]
$X_{slak}$	=	massafractie slak (onbrandbaar) in de brandstof [kg/kg]
$M_{lucht}$	=	theoretische benodigde hoeveelheid verbrandingslucht [kg/s]
$\lambda$	=	luchtfactor lamda (verhouding werkelijk toegevoerde / theoretische Benodigde hoeveelheid verbrandingslucht)

In de praktijk is het warmteverlies via de slak circa 1 % van energietoevoer en kan worden verwaarloosd. Stel we nemen twee bedrijfssituaties, ieder met een eigen luchtvermaat en vuurhaardtemperatuur:

$$\dot{m}_b * LHV_{afval} = \dot{m}_b * Cp_{RG} * (X_{brandbaar} + \lambda_1 * M_{lucht}) * (T_1 - T_0) \quad (\text{B8.5a})$$

$$\dot{m}_b * LHV_{afval} = \dot{m}_b * Cp_{RG} * (X_{brandbaar} + \lambda_2 * M_{lucht}) * (T_2 - T_0) \quad (\text{B8.5b})$$

Vergelijking B8.5a delen door B8.5b levert:

$$\frac{(T_2 - T_0)}{(T_1 - T_0)} = \frac{\dot{m}_b * Cp_{RG} * (X_{brandbaar} + \lambda_2 * M_{lucht})}{\dot{m}_b * Cp_{RG} * (X_{brandbaar} + \lambda_1 * M_{lucht})} \quad (\text{B8.6})$$

Bij gelijke toevoer en samenstelling van de brandstof wordt dit:

$$\frac{(T_2 - T_0)}{(T_1 - T_0)} = \frac{(X_{brandbaar} + \lambda_2 * M_{lucht})}{(X_{brandbaar} + \lambda_1 * M_{lucht})} \quad (\text{B8.7})$$

Op basis van een continu gemeten vuurhaardtemperatuur en bijbehorend gehalte restzuurstof, kan bij iedere andere waarde voor lambda de bijbehorende vuurhaardtemperatuur worden berekend, dus ook die bij stoichiometrische verbranding ( $\lambda = 1$ ). Voor de luchtvermaat geldt bij benadering:  $\lambda = 20,95 / (20,95 - O_2)$ , waarin  $O_2$  het restgehalte zuurstof na de verbranding is. De vergelijking geldig is zolang  $\lambda \geq 1$  (aannahme van volledige verbranding gerechtvaardigd).

**9. Berekening van de vermeden fossiel en CO2 in dit onderzoek**



## B9.1 Vermeden primaire en fossiele brandstof

Voor de hoeveelheid *vermeden primaire brandstof* geldt:

$$Vermeden\ primair\ [pJ] = \left( \frac{E_{netto}}{\eta_{el.ref.}} + \frac{W_{netto}}{\eta_{th.ref.}} \right) - Q_{fossiel, eigen\ verbruik} \quad (B9.1)$$

De (netto) bijdrage in termen van vermeden fossiel is gelijk aan de elders vermeden fossiel, verminderd met input aan fossiel materiaal in de eigen installatie.

Voor de hoeveelheid vermeden primair als functie van de CHPR geldt:

$$Verm.\ primair(CHPR) = (1 - CHPR) * \frac{E_{netto}(CHPR=0)}{\eta_{el.ref.}} + CHPR * \frac{W_{netto}(CHPR=1)}{\eta_{th.ref.}} \quad (B9.2)$$

Voor de (netto) hoeveelheid *vermeden fossiele brandstof* geldt:

$$Vermeden\ fossiel\ [pJ] = \left( \frac{E_{netto}}{\eta_{el.ref.}} + \frac{W_{netto}}{\eta_{therm.ref.}} \right) - Q_{fossiel} - [1 - X] * Q_{afval} \quad (B9.3)$$

*Waarin:*

$X_{afval}$	=	biogene fractie (o.b.v. stookwaarde) van het afval
$E_{netto}$	=	netto geleverde elektrische energie [pJ]
$W_{netto}$	=	netto geleverde thermische energie [pJ]
$Q_{afval}$	=	brandstofwaarden van het verwerkte afval [pJ]
$Q_{fossiel}$	=	Eigen verbruik fossiele (ondersteuning)brandstof [pJ]
$\eta_{el.ref.}$	=	netto elektrisch rendement van de referentie: anno 2006 43,1 % <sup>57</sup>
$\eta_{therm.ref.}$	=	netto thermische rendement van de referentie: anno 2006 90 %

Hier wordt dus rekening gehouden met zowel het niet biogene deel als het "eigen verbruik" van fossiele brandstof.

Bij de rookgasreiniging verbruikte actieve kool of cokes wordt, voor zover niet (elders) met teruggewinning van energie verbrand, als fossiele brandstof geteld. Voor de te gebruiken kentallen wordt verwezen naar Monitoring protocol Duurzame Energie [SenterNovem, 2006].

## B9.2 Vermeden CO2

### Vermeden primaire CO2 (elders vermeden fossiele CO2)

De elders vermeden CO2 is in dit onderzoek berekend als:

$$Vermeden\ primaire\ CO_2\ [ton] = GWh_{el.} * 640 + GWh_{th.} * 56 [kg/GJ_{th.}] * \frac{3600 [GWh/GJ]}{1000 [kg/ton]} \quad (B9.4)$$

*Waarin:*

$GWh_{el.}$	=	netto geleverd elektrisch vermogen
$GWh_{th.}$	=	netto geleverd thermisch vermogen
640	=	vermeden emissie CO2 in [ton / GWh <sub>el.</sub> ]
56	=	vermeden emissie CO2 in [ton / GWh <sub>th.</sub> ]

<sup>57</sup> Monitoring protocol Duurzame energie, update 2006.

### Vermeden fossiele CO2

De vermeden fossiel CO2 wordt in dit onderzoek berekend als:

$$\text{Vermeden fossiele CO}_2 [\text{ton}] = \text{Vermeden fossiele CO}_2 [\text{ton}] - 0,33 * \text{Afvalinput} [\text{ton}] \quad (\text{B9.5})$$

*Waarin:*

0,33 = emissie fossiele CO2 uit afval in [ton fossiele CO2/ton afval]

Deze emissiefactor is ook bij de eindevaluatie van het REB-convenant (KEMA, 2002e) gebruikt. Achtergrond ervan is een veronderstelde emissie van 2,2 kg CO2 / kg kunststof in het afval en een gehalte van 15% kunststof in het afval. Dit maakt  $0,15 * 2,2 = 0,33$  kg CO2 /kg afval.



**10. Uitgangspunten evaluatie van de REB-regeling voor de AVI's**

Door VEREBA zijn periodiek voortgangsrapportages aan De Staat verzonden. Ter afronding van het convenant heeft KEMA in opdracht van NOVEM de eindevaluatie gedaan. In dit onderzoek zijn niet de geaggregeerde gegevens uit die tussentijdse rapportages of de eindevaluatie gebruikt, maar gegevens van de afzonderlijke AVI's zelf. Redenen daarvoor zijn:

- In de eindevaluatie wordt de conclusie dat het convenant een succes was ook is gebaseerd op de "verwachte" prestatie van de AVI's ultimo 2004. De tussentijdse rapportages aan de "De Staat" uitsluitend zagen op de looptijd van het convenant, i.e. juli 1999 tot en met juni 2002. Met de eindevaluatie van het convenant, KEMA rapport van 30 juli 2002, stopt echter ook de monitoring in het kader van het convenant;
- De berekeningen van KEMA waren gebaseerd op gegevens van de bedrijven zelf. Niet bekend is welke afbakening (energiedragers en systeemgrenzen e.d.) daarbij is gebruikt;
- De prestaties uitsluitend zijn gevolgd in termen van "vermeden fossiel". Dit terwijl het de oorspronkelijke doelstelling van de overheid ook uitging van een efficiencyverbetering;
- Slechts enkele bedrijven in hun eigen (milieu)jaarverslagen meer rapporteren dan uitsluitend het (netto) geleverd elektrisch of thermisch vermogen.

Omdat de conclusie in de eindevaluatie ook was gebaseerd op de verwachte prestaties ultimo 2004, worden hier de prestaties beschouwd over de periode tussen 1997 (referentiejaar) en 2005, het meest recente jaar waarover alle gegevens bekend zijn.

Teneinde controleerbare uitkomsten te krijgen wordt in het kader van dit onderzoek een eigen beoordeling van de (energie)prestaties in relatie tot de kosten en baten gemaakt.

De gebruikte gegevens zijn verkregen uit de milieujaarverslagen, rapportages door of namens de sector, die van de Werkgroep afvalregistratie (WAR) in het bijzonder. Ten slotte zijn gegevens direct opgevraagd bij de bedrijven. Indien gegevens niet bekend waren of werden vrijgegeven, zijn schattingen gedaan. In dat geval zijn de waarden in een tabel in rood weergegeven.

#### *Beschouwde installaties*

1. De installatie van SITA Roosendaal, heeft het convenant wel ondertekend, maar kwam niet voor teruggave van de REB in aanmerking. Deze AVI is net als in formele evaluatie van het convenant meegenomen bij de bepaling van de (gewogen) gemiddelde prestaties.

#### *Systeemgrenzen*

1. Ten behoeve van dit onderzoek zijn de grenzen strak om de AVI gelegd. Dit wil zeggen dat voor bijvoorbeeld AVR Rozenburg de gegevens zijn geschoond voor de stoom afkomstig van de ovens voor de verwerking van gevaarlijk afval. Het eigen verbruik van die installatie is meegeteld als netto levering aan derden.
2. Voor zowel ARN als Essent zijn de grenzen om het eigenlijke verbrandingsdeel gelegd. De voorscheiding is dus buiten beschouwing gelaten.

#### *Afbakening energiedragers / stromen*

3. Voor Essent en ARN zijn de resultaten betrokken op het verbrande RDF. De input van de stortgasmotoren maar ook de opbrengst daarvan zijn buiten beschouwing gelaten;
4. In de rookgasreiniging verbruikte actieve kool is, indien dit intern werd verbrand (AVR Rotterdam), bij de brandstofinput opgeteld;

#### *Vaststelling vermeden primaire en fossiele brandstof, rendementen*

5. Geleverd vermogen is gecorrigeerd voor ingekocht elektrisch vermogen;
6. Brandstof ten behoeve van bijvoorbeeld noodstroom generatoren (diesel gedreven) én hun opbrengst worden als respectievelijk brandstofinput en opgewekt vermogen meegeteld.

De berekende hoeveelheid vermeden primaire én fossiele brandstof zijn gecorrigeerd voor het eigen verbruik aan fossiele ondersteuningsbrandstoffen, inclusief eventueel intern verwerkte actieve kool. Dit geldt ook voor gasmotoren t.b.v. bijvoorbeeld herverhitting van het rookgas voor een katalytische DeNOx, zoals bijvoorbeeld bij HVC Alkmaar.

**11. Financiële aspecten van de REB-regeling voor de AVI's**

### B11.1 REB teruggave op basis van het convenant

De werkelijke gegevens zijn slechts bekend bij de belastingdienst. Over de aangifte of aanslag van individuele cliënten worden geen gegevens verstrekt, ook niet aan KEMA in het kader van evaluatie van het convenant. Wat betreft de directe opbrengst van het convenant wordt hier daarom een schatting gemaakt op basis van de werkelijke levering van elektrisch vermogen. Hier doen zich dan ook een aantal mogelijkheden voor:

- **Teruggave op basis van bruto opgewekt óf netto geleverd vermogen.** Gedurende de looptijd van het convenant is in het overleg tussen de AVI's en de Staat de vraag aan de orde gesteld of teruggave voor de AVI's bepaald mocht worden op basis van het bruto opgewekt vermogen in plaats van het netto geleverd vermogen. Dit is snel afgedaan met als argument dat alleen over het netto aan verbruikers geleverd vermogen REB werd geheven en dus ook alleen daarover ook teruggave kon plaatsvinden. Het is echter mogelijk dat door splitsing van juridische entiteiten van of binnen een onderneming het bruto opgewekt vermogen wordt geleverd, en het eigen verbruik via een andere juridische entiteit werd ingekocht. Voor twee van de elf AVI's zou door deze zogenaamde "spiegelcontracten" feitelijk toch teruggave op basis van bruto opgewekt vermogen hebben plaatsgevonden, overeenkomend met een extra opbrengst van 4,3 mln euro;
- **Keuze van de systeemgrenzen.** Niet duidelijk in hoeverre de systeemgrenzen strak om de AVI's zijn getrokken. Dit is met name relevant voor AVR Rozenburg waar de netto levering van elektriciteit opgewekt met stoom van het DTO bedrijf, een verschil maakt van circa 0,8 miljoen euro over de looptijd van het convenant. Voor de AVI's van Essent en ARN is niet duidelijk of de productie van de stortgasmotoren in de netto levering is meegeteld. Het meetellen van de opbrengst van de stortgasmotoren komt overeen met een extra opbrengst van 1,1 miljoen euro;
- **Gebroken boekjaar.** De voor deze berekening gebruikte gegevens zijn gebaseerd op de totalen van enig kalenderjaar. In werkelijkheid lag de looptijd van het convenant tussen 1 augustus 1999 en 30 juni 2002. Omdat niet bekend is in hoeverre de productie c.q. levering in 1999 en 2002 door het jaar heen is geweest, is voor deze jaren de levering en daarmee ook opbrengst bepaald naar evenredigheid van de looptijd in die jaren.

Gelet op bovenstaande lagen directe opbrengsten uit het convenant tussen de 65 miljoen euro (op basis van netto levering, grenzen strak om de AVI's) en de 83 miljoen euro (teruggave voor alle AVI's op basis van bruto levering, productie uit stortgas en DTO bedrijf meegenomen). De werkelijke opbrengst lag zeer waarschijnlijk tussen de 65 en 71 (= 65 + 4,3 + 1,9) miljoen euro. Dit komt in orde grootte overeen met de circa 65 miljoen euro die door de sector zelf is genoemd (Pfeiffer, Bijlage 1).

### B11.2 Meeropbrengst door toename van de afvaldoorzet

Verhoging van de afvaldoorzet resulteert in hogere omzet uit het verwerkingstarief en hogere inkomsten uit de levering van elektriciteit.

#### ***Meeromzet op basis van het verwerkingstarief***

Gedurende de convenantperiode (juli 1999 t/m juni 2002) is ten opzichte van het referentiejaar 1997 in totaal 1,7 miljoen ton meer afval verbrand. Uitgaande van een verwerkingstarief van € 87/ton (HVC) tot € 145/ton (ARN) resulteerde dit gedurende de looptijd van het convenant in een extra omzet van 148 tot 247 miljoen euro. Uitgaande van een gemiddeld verwerkingstarief van € 90/ton (conservatieve benadering), bedroeg de meeropbrengst 152 miljoen euro.

Geschoond voor de aanloopverliezen van Twence en ARN, resulteerde de hogere benutting van de ovenscapaciteit in een structureel hogere afvaldoorzet van 0,8 miljoen ton per jaar. Bij genoemd poorttarief komt dat overeen met een extra omzet van 72 miljoen euro per jaar. Daar staan de hogere afvoerkosten voor reststoffen, die van vliegias en ruwe slak in het bijzonder tegenover. Uitgaande van afvoerkosten voor ruwe slak van 5 euro per ton afval en voor vliegias

van 10 euro per ton afval, bedragen de meerkosten van de hogere afvaldoorzet 12 miljoen. Per saldo resulteert de hogere doorzet in een structurele meeropbrengst van circa 60 miljoen euro.

#### ***Toegenomen levering elektriciteit en warmte***

Ten opzichte van het referentiejaar is de netto levering van elektriciteit toegenomen van 2098 GWh (1997) tot ruim 2750 GWh (2005) per jaar. Over de gehele looptijd van het convenant is netto 1007 GWh meer geleverd, wat bij een vergoeding van zeg € 40/MWh en € 15/MWh REB resulteerde in een meeropbrengst van 55 miljoen euro.

Geschoond voor de aanloopverliezen van ARN en Twence is levering sinds 1998 met circa 400 GWh per jaar toegenomen. Uitgaande van een vergoeding van € 60 / MWh (prijsspeil 2008) bedraagt de structurele meeropbrengst uit de extra levering, 24 miljoen euro per jaar.

#### ***AVR Rozenburg***

In 2000 heeft AVR een nieuwe installatie voor de productie van gedestilleerd water in bedrijf genomen. Die nieuwe installatie is efficiënter dan de oude installatie en kan bovendien met vacuümstoom (60 °C) in plaats van lage druk stoom (135 °C) worden bedreven. Bovendien wordt benodigde vacuümstoom geproduceerd door terugwinning van restwarmte in ovens voor de verbranding van twee specifieke afvalwaterstromen uit de petrochemie. Ondanks de nieuwe levering van hoge druk stoom aan het naastgelegen petrochemisch bedrijf (zie 5.4.3) is de netto levering door AVR met 405 GWh afgenomen.

Omdat het hier levering van lage druk stoom ten behoeve van een *eigen* destillatie-unit betreft, worden de financiële effecten van de verminderde afzet van warmte hier nihil verondersteld.

#### ***AVR Duiven***

De levering door AVR Duiven is ten opzichte van het referentiejaar met circa 90.000 GJ toegenomen. De toename kon met de bestaande installatie worden gerealiseerd, dus zonder aanvullende maatregelen of derving van inkomsten uit de productie van elektriciteit. Uitgaande van een vergoeding van € 7/GJ<sup>58</sup> zou de structurele meeropbrengst circa 0,6 miljoen euro per jaar bedragen.

#### ***SITA Roosendaal***

De levering door SITA Roosendaal aan de naastgelegen tuinder is nagenoeg gelijk gebleven. De financiële effecten van ontwikkelingen met betrekking tot de reeds bestaande warmteleveringen worden derhalve nihil verondersteld.

### **B11.3 Investerings**

Voorafgaand aan het convenant is in opdracht van de overheid een inventarisatie van de mogelijke verbetermaatregelen gemaakt (KEMA, 1998). Met de uitvoering van het convenant zou door de AVI's voor in totaal 312 miljoen euro (NLG 687 miljoen) aan maatregelen worden genomen. Daarvan zou, gelet op de economische haalbaarheid en locatiespecifieke factoren, 110 miljoen euro (NLG 242 miljoen) in warmteprojecten worden geïnvesteerd.

Volgens de eindevaluatie is uiteindelijk voor 148 miljoen euro aan maatregelen werkelijk uitgevoerd. Daarvan zou 34 miljoen euro aan warmteprojecten zijn besteed (KEMA; 2002b).

#### **Maatregelen ter verbetering van de installatie-eigen rendementen**

Door twee AVI's zijn maatregelen genomen die tot verbetering van het intrinsiek elektrisch rendement hebben geleid.

#### ***ARN: levering restwarmte aan RWZI***

De realisatie van de warmtelevering aan de RWZI bestaat eruit dat de AVI haar stoom tegen koelwater weg condenseert. Dit koelwater wordt door de RWZI gebruikt voor opwarming van inkomende afvalwater. De AVI kan ook in de zomermaanden op vollast draaien tegen een hoger elektrisch rendement (+ 3%-punt), wat uitgaande van een vergoeding van € 60/MWh

---

<sup>58</sup> De prijs voor heet water t.b.v. ruimteverwarming ligt tussen 5 en 8 euro/GJ. Exacte gegevens zijn echter niet bekend.



resulteert in € 1,7 miljoen per jaar aan extra inkomsten uit elektriciteit. Voor de RWZI kon de capaciteit van de bestaande installatie worden opgevoerd. Gelet op de voordelen voor beide partijen, geschiedt de levering van warmte door ARN "om niet". Gelet op het feit dat het hier om warmte gaat die geen inzet van fossiele brandstof vermijdt, wordt dit project hier primair aangemerkt als maatregel te verbetering van het rendement van de AVI zelf in plaats van verbetering van het rendement door verhogen van de CHPR.

*AEB: Terugwinning van warmte vóór de RGR*

Door het installeren van warmtewisselaars vóór de RGR kon de energie inhoud van het rookgas na de stoomketel nuttig worden toegepast, in plaats van dit bij de inlaat van de wasser weg te koelen. De extra warmte zou overeenkomen met 20 GWh-elektrisch per jaar.

**Nieuwe warmteprojecten (verhoging CHPR)**

Gedurende de looptijd van het convenant zijn behalve de maatregel door ARN twee nieuwe projecten voor levering van warmte gerealiseerd.

*AEB:*

Dit betreft levering aan het bedrijventerrein Westpoort (stadsverwarming). Uitgaande van een opbrengst van € 10/GJ, wat gelet op de ontwikkeling van de gasprijs een conservatieve raming is, resulteert de warmtelevering voor AEB in een opbrengst van circa 2 miljoen euro per jaar.

*Warmtelevering AVR Rozenburg*

In 2004, na afloop van het convenant, is AVR gestart met het leveren van hoge druk stoom aan een naastgelegen petrochemisch bedrijf. Uitgaande van een vergoeding van € 10/GJ resulteert de levering van warmte (in 2005 bijna 700.000 GJ) in een opbrengst van circa 7 miljoen euro per jaar. Uitgaande van een overzetverhouding van 5 ton stoom per MWh-elektrisch<sup>59</sup> en een vergoeding van € 60/MWh is de derving aan inkomsten uit elektriciteit ongeveer 2,5 miljoen. Per saldo bedragen de baten uit de levering van stoom 4 tot 5 miljoen euro per jaar. Gelet op de rentabiliteit en het gegeven dat de warmtelevering zou leiden tot lagere inkomsten uit de REB, kan dit niet worden aangemerkt als maatregel in het kader van het convenant.

**Overige maatregelen**

Door verschillende AVI's (AZN, AVR Rozenburg) zijn gedurende de looptijd van het convenant maatregelen genomen of in gang gezet die zouden bijdragen aan verbetering van de energieprestaties. Met dergelijke maatregelen waren wel grote investeringen gemeoid, maar die waren primair gericht op verbetering van de beschikbaarheid of benutting van de ovens. Gelet op het feit dat voor beide installaties het netto elektrisch rendement nagenoeg gelijk is gebleven, was het belangrijkste resultaat een hogere beschikbaarheid c.q. benutting en dus hogere afvaldoorzet. De vraag rijst dan ook of deze investeringen, toe zijn te schrijven aan het convenant. Ergo: zouden de maatregelen zonder convenant achterwege zijn gebleven? Wat betreft de in het kader van het convenant gedane investeringen wordt beperkt de inventarisatie zich daarom tot de bovengenoemde maatregelen welke werkelijk hebben geleid tot verbetering van het intrinsiek elektrisch of thermisch rendement dan wel verhoging van de CHPR.

*Totaal*

Optellen van de bovengenoemde investeringen geeft een totaal van  $3 + 8,2 + 4 + 8,8 + 23 = 47$  miljoen euro. Veel minder dan het in de eindevaluatie genoemde bedrag van 148 miljoen euro.

**B11.4 Overige subsidies**

Voor te nemen maatregelen of onderzoeken ter verbetering van de milieuprestaties kunnen bedrijven een beroep doen op subsidies uit het CO2-reductieplan of fiscale regelingen zoals de energie investeringsaftrek (EIA) of Vrije afschrijving milieu investeringen (VAMIL). De deelname aan het convenant veranderde dit niet. In deze paragraaf wordt een inschatting gemaakt van de anderszins verkregen subsidies op de om reden van het convenant, genomen maatregelen.

---

<sup>59</sup> AVR Rozenburg heeft 2 condenserende en 2 tegendrukturbines staan. Gelet op het feit dat de condenserende machines vrijwel steeds volledig worden benut, en het "overschot aan hoge drukstoom op de tegendrukturbines (ca 12 ton stoom / MWh) moet worden afgewerkt, weerspiegelt de hier berekende derving een conservatieve benadering.

*ARN, levering warmte aan RWZI*

De benodigde investering voor het project, oorspronkelijk geraamd op 5 miljoen gulden [VVAV, "Actueel" februari 2001], is uitgekomen op 8 miljoen gulden, waarvan 1,5 miljoen gulden met subsidies is gefinancierd [VVAV; "flits" januari 2001].

*AVR Rozenburg; heat recovery Caustic Water Treatment (CWT)*

Voor de terugwinning van laagwaardige warmte t.b.v. de productie van gedestilleerd water is op een bedrag van 8,2 miljoen euro een subsidie verleend van 2,3 miljoen euro. Deze ovens voor verwerking van afvalwater van twee petrochemische bedrijven wordt niet tot de AVI's gerekend. Het project als zodanig viel dus buiten het convenant, maar had wel consequenties voor de prestaties van de AVI. Realisatie van dit project betekende minder levering van warmte (lage drukstoom) en daarmee ook de bijdrage in termen van vermeden primair en fossiel.

*AVR Rozenburg, stoomlevering aan naastgelegen bedrijf*

Met de realisatie van deze stoomlevering was naar schatting een investering van 2 tot 3 miljoen euro gemoeid. Niet bekend is of voor dit project een subsidie is verkregen.

*AEB: terugwinning van warmte vóór de RGR*

Op de investering van 5,8 miljoen euro is 1,1 miljoen euro subsidie verleend, ofwel € 14,30/ton CO<sub>2</sub><sup>60</sup>.

*AEB: aansluiting Westpoort warmte*

Voor het totale project was een investering van 50 miljoen gulden nodig, waarvan 15 miljoen gulden<sup>61</sup> tot 20 miljoen gulden<sup>62</sup> uit de REB gelden en het CO<sub>2</sub>-reductieplan gefinancierd zou worden. In het kader van het CO<sub>2</sub>-reductieplan is aan Westpoort Warmte, het gezamenlijke warmtebedrijf van AEB en NUON, een subsidie van 2,7 miljoen euro verleend (Projectbureau CO<sub>2</sub>-reductieplan, 2002). Volgens het eigen jaarverslag bedroeg de uiteindelijke investering 23 miljoen euro (AEB, 2005).

*HVC: warmtelevering Boekelermeer*

Voor de aanleg van een transportleiding tussen HVC en het nabijgelegen bedrijventerrein is op een investering van 5 miljoen euro een subsidie verleend van € 0,431 mln (Projectbureau CO<sub>2</sub>-reductieplan, 2002). Om reden van onzekerheid van rond het project vindt de levering van warmte eerst nog plaats door middel van gasgestookte hulpketels. De levering warmte door de AVI zelf is eind 2005 gestart. Het effect daarvan zal eerst in het rendement en de CHPR over 2006 zichtbaar worden.

---

<sup>60</sup> Projectbureau CO<sub>2</sub>-reductieplan; Projectenoverzicht CO<sub>2</sub>-reductieplan 1997-2000.

<sup>61</sup> Bron: "Afvalforum", februari 2000.

<sup>62</sup> Bron: "flits", vereniging van afvalbedrijven, februari 2001.



**12. Installaties die voor MEP-subsidie in aanmerking kwamen**

Tabel B12.1

AVI's die voor MEP subsidie aan aanmerking kwamen

Parameter	eenheid	Twence Lijn 1 en 2	AVR Duiven Lijn 2	AZN lijn 1 t/m 3	AEB HR-AVI
Oventechnologie	-	Rooster	Rooster	Rooster	Rooster
Verwerking / inzet van	-	HHA, BA	HHA, BA	HHA, BA	HHA, BA
Thermisch vermogen (input)	MW		1 x 35	3 x 90	2 x 93
Stoomtemperatuur en druk	°C / Bar		400 / 40	400 / 100	440 / 130
<b>Input</b>					
Afvaldoorzet	Kton / jaar		115	650	530
Stookwaarde (LHV)			8.5	10	10 GJ/ton
E geproduceerd (CHPR = 0)	GWh / jaar		70	650	520
E netto geleverd (CHPR = 0)	GWh / jaar		55	525	420
<b>Kentallen</b>					
Ketelrendement	%	Ca. 80	Ca. 80	Ca. 80	87
N (CHPR=1) netto	%		Ca. 70	Ca. 72	78%
N (CHPR=0) bruto	%		Ca. 18	Ca. 33	34%
N (CHPR=0) netto	%		Ca. 14	Ca. 29	30%
CHPR min.	-		0	1	0
CHPR max.	-		> 0	1	0
<b>Realisatie</b>					
Startnotitie m.e.r.	-		niet bekend	30-03-1992	28-02-2002
Aanvang realisatie / bouw	-		niet bekend	1995	18-10-2003
Aanvang (proef) bedrijf	-		niet bekend	01-02-1997	01-04-2007
<b>MEP beschikking</b>					
In bedrijf name	-		13-06-1997	14-11-1996	01-08-2007
Begin MEP-subsidie	-		01-07-2007	01-07-2003	01-08-2007
Einde MEP-subsidie	-		22-12-2011	13-11-2006	31-07-2017
Opgesteld elektrisch vermogen	MW		9	78	74
Maximale subsidie (totaal)	Mln. €	0,1	1,8	24,4	71,6
<b>Financiële aspecten</b>					
omzet uit afval	€ / jaar		12 mln.	60 mln.	42 mln.
omzet uit levering elektriciteit <sup>63</sup>	€ / jaar		3,5 mln.	30 mln.	25 mln.
Totale omzet (excl. MEP)	€ / jaar		16 mln.	90 mln.	83 mln.
Investering	Mln. €	Niet bekend	Niet bekend	€ 400 mln.	€ 370 mln.

---

<sup>63</sup> Uitgaande van een € 60 / MWh.

Tabel B12.1 biomassa energiecentrales (BEC's) die voor MEP subsidie aan aanmerking kwamen (KEMA, 2004, 2006)(TAUW, 2005)

Parameter	eenheid	HVC Alkmaar <sup>64</sup>	Twence	AVR Rozenburg <sup>65</sup>
Thermisch vermogen	MW	75	64	78
Verwerking / inzet van	-	A- en B-hout	A- en B-hout	B-hout
Stoomtemperatuur en druk	°C / Bar	500 / 90	465 / 65	450 / 60
Beschikbaarheid	%	94	n.b.	91
technologie		wervelbed	Rooster	Rooster
<b>Input</b>				
Afvaldoorzet	Kton/jaar	170	140	200
Ontwerp stookwaarde (LHV)	GJ/ton	13,1	n.b.	11,2
E geproduceerd (CHPR = 0)	GWh / jaar	200	163	183
E netto geleverd (CHPR = 0)	GWh / jaar	180	145	161
Vermeden CO2	Kton / jaar	110 <sup>66</sup>	Niet bekend	65 <sup>67</sup>
<b>Kentallen</b>				
ketelrendement	%	n.b.	n.b.	84 %
N (CHPR=1) netto	%	n.b.	n.b.	n.b.
N (CHPR=0) bruto	%	32,3	> 30,0	> 30,0
N (CHPR=0) netto	%	29,0	> 27,0	> 27,0
CHPR min.	-	0	0	0
CHPR max.	-	0	0	0
<b>Realisatie</b>				
Startnotitie m.e.r.	Datum	24-06-2005	01-01-2004	24-10-2005
Aanvang bouw.	Datum	2006	april 2006	maart 2006
Aanvang proefbedrijf	Datum	Oktober '07	Oktober '07	23-11-2008
<b>Financiële aspecten</b>				
Investing	-	n.b.	€ 80 mln.	€ 87 mln. <sup>64</sup>
jaaromzet uit afval	-	Nihil	Nihil	Nihil
jaaromzet uit levering elektriciteit <sup>68</sup>	-	€ 11 mln.	€ 9 mln.	€ 9 mln.
MEP subsidie (per jaar)	-	€ 17 mln.	€ 14 mln.	€ 15 mln.
Totale jaaromzet	-	€ 28 mln.	€ 23 mln.	€ 24 mln.
Tot. subsidie (10 jaar)	-	€ 170 mln.	€ 140 mln.	€ 150 mln.
Subsidie / omzet (max.)	-	0,6	0,6	0,6
Subsidie / investering	-	n.b.	1,7	1,7

<sup>64</sup> Bron: HVC groep 2009.

<sup>65</sup> Bron: Milieueffectrapport Biomassa energiecentrale NV Afvalverwerking Rijnmond, januari 2006.

<sup>66</sup> Bron: milieueffectrapport Biomassa energiecentrale HVC Alkmaar

<sup>67</sup> Bron: "energie uit biomassa", folder AVR Afvalverwerking.

<sup>68</sup> Uitgaande van een € 60 / MWh.



**13. MEP-regeling voor de Biomassa Energie Centrales**



### B13.1 Installaties die voor MEP-subsidie in aanmerking kwamen

Voor de MEP-subsidie kwamen behalve de AVI's, ook de zogenaamde biomassa energiecentrales (BEC's) in aanmerking.

#### Biomassa energiecentrales

Onder de AVI's vallen ook de zogenaamde biomassa energiecentrales (BEC's). Dit zijn installaties bedoeld voor de opwekking van elektriciteit uit de houtfracties van onder meer grof huishoudelijk afval en bouw- en sloop afval. Omdat de input (voornamelijk A en B-hout) om niet of tegen betaling moeten worden verkregen (SenterNovem, 2005), zijn de inkomsten voor deze installaties beperkt tot de opbrengsten uit de levering van energie. Gelet op de lage elektriciteitsstarieven (anno 2006 circa € 60 per MWh) zouden dergelijke installaties zonder subsidie niet rendabel zijn. Met de invoering van de MEP-regeling werd hierin voorzien.

Omdat uitsluitend (naar aard) zuivere biomassa wordt ingezet werden de biomassa energie centrales in het kader van de *Regeling subsidiebedragen MEP 2006*<sup>69</sup> als producent van duurzame energie beschouwd. In plaats van de rendementsafhankelijke vergoeding kwamen ze gedurende 10 jaar in aanmerking voor de vaste vergoeding van € 0,097 per geleverde kWh.

Naar aanleiding van toekenning van MEP-subsidie zijn drie installaties gerealiseerd:

- Biomassa energiecentrale van AVR Rozenburg;
- Biomassa energiecentrale van HVC Alkmaar;
- Biomassa energie en Twence Hengelo.

#### Overige afvalverbrandingsinstallaties

De thermische conversie installatie (TCI) van AVR Duiven voor het verwerken van papierslib en de slibverbranders verwerken net als de biomassa energiecentrales uitsluitend biomassa. Als producent van duurzame elektriciteit kwamen zij daarom zonder meer in aanmerking voor REB- en MEP-subsidie. In het kader van dit onderzoek worden deze installaties buiten beschouwing gelaten.

### B13.2 Uitvoering en resultaten voor de Biomassa energiecentrales

Met de MEP-subsidie beoogde de overheid om biomassa energie centrales voor de bedrijven financieel aantrekkelijk te maken. Omdat de inkomsten vrijwel uitsluitend uit de opbrengst van energie bestond zouden de bedrijven er alle belang bij hebben een zo hoog mogelijk energie rendement na te streven. Zowel in het ontwerp als gedurende de bedrijfsvoering.

Om reden van de MEP-subsidie zijn drie biomassa energiecentrales gebouwd, welke tussen eind 2007 en eind 2008 in bedrijf zijn genomen. Omdat gegevens over tot op heden behaalde rendementen niet bekend zijn, worden hier de ontwerpgegevens

#### Intrinsiek netto thermisch en elektrisch rendement

De installaties hebben een elektrisch ontwerp rendement van 27 % netto (AVR rozenburg, Twence Hengelo) en 29 % netto (HVC Alkmaar). Omdat levering van warmte ten koste gaat van het elektrisch rendement en daarmee de subsidie, is bij geen van de installaties levering van warmte voorzien ( $CHPR_{\max} = 0$ ).

Informatie over de tot op heden in de praktijk behaalde rendementen is niet beschikbaar. Daarom is niet bekend in hoeverre de ontwerp rendementen ook werkelijk zijn gehaald. Omdat de investeringen uitsluitend door levering van elektriciteit kunnen worden terugverdiend, heeft de eigenaar er alle belang bij het (ontwerp) elektrisch rendement ook waar te maken

Gelet op het feit dat het nieuwe installaties betreft, zijn technische maatregelen ter verhoging van het (ontwerp) intrinsiek thermisch en elektrisch rendement zeer onwaarschijnlijk.

---

<sup>69</sup> Staatscourant 27 december 2004, nummer 250 / pagina 20.

#### Omvang van de MEP-subsidie

Over de periode van 10 jaar bedraagt de maximaal te ontvangen subsidie € 140 miljoen voor Twence, € 150 miljoen voor AVR en € 170 miljoen voor HVC. In totaal wordt voor de drie installaties maximaal € 460 miljoen aan MEP subsidie verleend. Niet bekend is of de biomassa energiecentrales ook voor andere vormen van steun of subsidie in aanmerking kwamen.

### **B13.3 Bevindingen met betrekking tot de Biomassa Energiecentrales**

#### Intrinsiek thermisch en elektrisch rendement

Het intrinsiek elektrisch rendement van de drie installaties is wel hoger dan het gemiddelde van de bestaande AVI's (17 – 18 % netto) maar lager dan dat van de HR-AVI van het Afval energiebedrijf. Dit terwijl deze laatste de minder homogene afvalstromen verwerkt. Daarvoor zijn twee verklaringen mogelijk. De eerste is dat het zelfs voor output gedreven installaties niet haalbaar was om ook voor de biomassa gestookte ovens voor het HR concept te kiezen. De tweede verklaring kan zijn dat dankzij de MEP-subsidie ook voor de installaties met het netto rendement van 27 % ruimschoots aan de rentabiliteitseisen van de bedrijven werd voldaan. Gelet op het feit dat in geen de milieueffectrapporten het concept van de HR-AVI of co-siting met bijvoorbeeld een STEG eenheid als variant is uitgewerkt en het plotseling grote aantal initiatieven na publicatie van de MEP-regeling, is de tweede verklaring het meest waarschijnlijk.

#### Kosteneffectiviteit van de MEP-regeling

In totaal zal aan de drie installaties circa 450 miljoen euro subsidie worden verstrekt, ruim anderhalf keer de totale investering. In diezelfde periode van 10 jaar is de totale bijdrage van de AVI's in termen van vermeden CO<sub>2</sub> ongeveer 3,1 miljoen ton. De kosten van de regeling bedragen daarmee 150 euro per ton CO<sub>2</sub>. Dit houdt echter geen rekening met het feit dat het afvalhout voordien naar met name Scandinavische landen werd geëxporteerd voor inzet in biomassa gestookte WKK eenheden, of als alternatieve brandstof in kolencentrales.

Volgens in 2004 door de Algemene Rekenkamer in 2004 uitgevoerde berekeningen zou de onrendabele top voor meestook van houtpallets in kolencentrales 7 eurocent per kWh bedragen (Rekenkamer, 2007c). Daarbij werd echter uitgegaan van zuivere biomassa waarvoor gemiddeld 110 euro per ton betaald zou moeten worden. De Biomassa energiecentrales kregen het afvalhout om niet<sup>70</sup>. De vraag rijst dan ook of zonder de biomassa energiecentrales c.q. de aan die installaties verstrekte subsidie minder energie uit biomassa zou zijn opgewekt.

Het storten van afvalhout zonder terugwinning van energie, is mede om die reden maar ook gelet op de doelstellingen van het huidige afvalstoffenbeleid geen reële baseline. Er van uitgaande dat met bij stoken in een kolencentrale, de voorbewerking meegerekend, een elektrisch rendement van 35% netto zou zijn bereikt is het zelfs de vraag of er per saldo sprake is van winst.

#### Duurzaamheid van de MEP regeling

Voor de biomassa installaties geldt dat deze alleen dankzij de MEP-subsidie (10 jaar lang 97 euro per MWh) konden worden gerealiseerd. Uitgaande van een marktvergoeding van 50 euro per MWh ten tijde van de besluitvorming daarover, zouden de installaties ook rendabel zijn geweest bij een marktprijs van 150 euro per MWh. Omdat de nu verleende subsidies na 10 jaar ophoudt worden de installaties ook over die termijn afgeschreven. Er moet daarom rekening mee worden gehouden dat de ovens na die periode uit bedrijf worden genomen, tenzij de marktprijs zich zodanig heeft ontwikkeld dat subsidie niet meer nodig is.

#### MEP ontmoedigt levering van warmte.

De biomassa energiecentrales krijgen in tegenstelling tot de AVI's weinig of geen vergoeding voor het verwerkte hout. Medio 2008 had het verwerkte materiaal zelfs een positieve waarde.

---

<sup>70</sup> Voor de kolencentrales bestaat er een groot verschil tussen meestook van schone biomassa en bijvoorbeeld het B-hout dat in de biomassa energiecentrales wordt verstookt. In geval van meestook van afvalstroom worden bij de vergunningverlening ook de emissienormen zoals die ook voor de AVI's gelden meegenomen. Dit kan voor de AVI's een afschrikkende werking hebben gehad, die niet in de onrendabele top van de Rekenkamer is verdisconteerd.

Uitgaande van een aanvoer om niet, is het verschil met de (andere) AVI's dat de inkomsten van de biomassa installaties vrijwel uitsluitend voortkomen de levering van energie.

De MEP-regeling voor de biomassa energiecentrales stuurt aan op zo hoog mogelijk elektrisch rendement.. De elektrisch rendement van de installaties is hoger dan het gemiddelde van de andere AVI's (H. 5), maar bedraagt nog steeds de helft van het rendement van een STEG eenheid ( $\eta_{el} \geq 55\%$ ). Door ook warmte te leveren zou daarom een hogere bijdrage in termen van elders vermeden fossiel en CO2 worden bereikt. De MEP-regeling stuurt daar echter niet op aan, aangezien dat ten koste zou gaan het geleverd elektrisch vermogen en daarmee ook van de subsidie.

#### Geen afstemming Administratieve lasten voor de bedrijven.

De hoogte van het subsidiebedrag per kWh wordt per maand bepaald op basis van het in die maand gerealiseerde MEP-rendement. Het geleverd elektrisch en thermisch vermogen worden met comptabele metingen vastgesteld, de afvalaanvoer gaat over een geijkte weegbrug. De stookwaarde van het afval wordt indirect bepaald met behulp van een energiebalans over de oven en ketel.

Om reden van de verplichte deelname aan de handel in NOx-emissierechten moeten de AVI's jaarlijks de NOx uitstoot in relatie tot de brandstofinput rapporteren. De wijze van meten en registreren van zowel NOx emissie als brandstofinput is per AVI in een monitoring protocol beschreven. Op basis van dit protocol is door de Nederlandse emissie autoriteit (Nea) een NOx emissievergunning verleend. Het monitoring protocol maakt daarvan deel uit. Jaarlijks wordt het emissieverslag met daarin een opgave van de brandstofinput c.q. stookwaarde door een onafhankelijke partij geverifieerd. Periodiek wordt door de Nea op naleving van het protocol gecontroleerd.

Ter controle van de gerapporteerde MEP-rendementen wordt door SenterNovem validatie van de middels het protocol bepaalde stookwaarde verlangd. Dat wil zeggen dat middels sorteerproeven van bijvoorbeeld een weekaanvoer de samenstelling wordt bepaald en daaruit een stookwaarde wordt berekend. De zo bepaalde stookwaarde kan met de continu gemeten en geregistreerde waarde worden vergeleken. Pas na goedkeuring van de resultaten door SenterNovem zullen de subsidiebedragen werkelijk worden uitgekeerd.

Door de bedrijven wordt deze eis als onnodig ervaren en ook niet begrepen. Niet duidelijk is waarom SenterNovem (ministerie van Economische Zaken) niet wil uitgaan van de reeds voor de Nea (ministerie van VROM) opgestelde rapportages.

### **B13.4 Conclusie**

Dankzij de MEP-subsidie zijn drie biomassa energiecentrales (BEC's) gerealiseerd. Deze installaties zijn uitsluitend bedoeld om elektriciteit op te wekken uit (naar aard) zuivere biomassa zoals afval- en snoeihout. De regeling heeft daarmee bijgedragen aan verhoging van de binnenlandse productie van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen. Het (ontwerp) elektrisch rendement is wel hoger dan het gemiddelde van de andere AVI's maar nog steeds ongeveer de helft van dat van bijvoorbeeld een STEG eenheid. Daarom zou de bijdrage in termen van (elders) vermeden CO2 of (elders) vermeden fossiel door levering van warmte kunnen worden verhoogd. Bij geen van de installaties is levering van warmte echter voorzien. Dit wordt verklaard door de volgende oorzaken:

- Uitsluitend levering van (zo veel mogelijk) elektriciteit wordt beloond;
- De installaties ook met het oog daarop zijn ontworpen en worden bedreven.

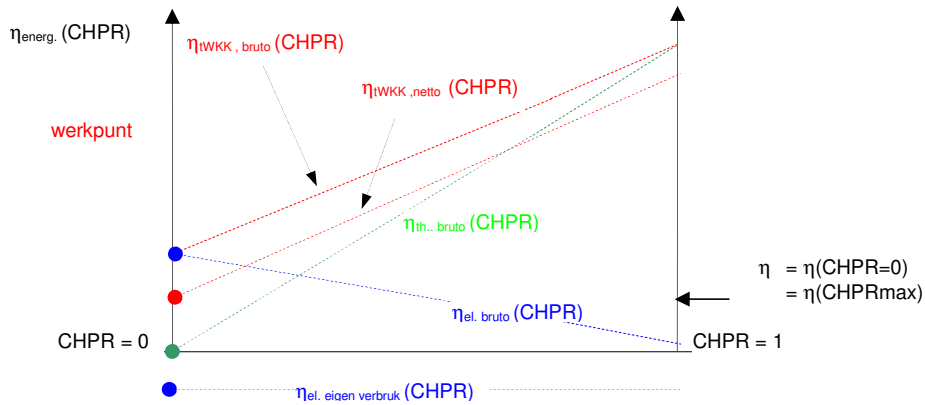
De CHPR is dus nihil en dat zal zonder wijziging van de subsidieregeling ook niet veranderen;

**14. Uitwerking van het WKK-diagram voor de vijf mogelijke turbineconfiguraties.**

Zoals in paragraaf 3.2 beschreven zijn drie situaties mogelijk. De AVI levert elektriciteit, warmte of een combinatie van beide. Voor de levering van zowel elektriciteit als warmte zijn drie opties mogelijk.

**a. De AVI levert alléén elektriciteit (CHPR = 0)**

De afgewerkte stoom wordt tegen koelwater gecondenseerd. In onderstaande figuur is het WKK-diagram schematisch weergegeven.



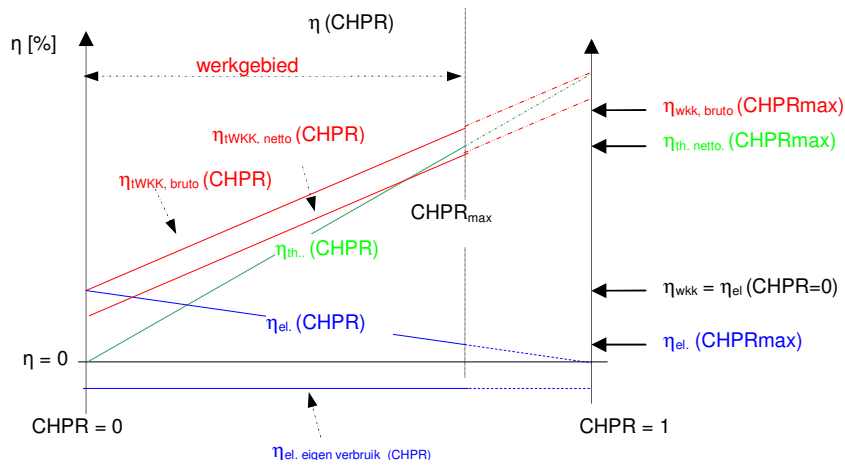
Figuur B14.1. WKK-diagram voor AVI die uitsluitend elektriciteit levert

Omdat de installatie maar één werkpunt heeft, zijn de lijnen voor het elektrisch, het thermisch en het WKK-rendement hier volledig gestippeld weergegeven. Indien de AVI zelf voorziet in het eigen verbruik aan elektriciteit en warmte, dan geldt voor het netto elektrisch rendement:

$$\eta_{netto} = \eta(CHPR = 0) = \eta_{el.,netto} = \frac{E_{opgewekt} - E_{eigen\ verbruik}}{Q_{afval} + Q_{brandstof}} \quad (B14.1)$$

**b. WKK middels aftappen stoom vóór de turbine (0 < CHPR < CHPRmax)**

De warmte wordt geleverd door hoge drukstoom vóór de condenserende turbine af te tappen. In onderstaand WKK-diagram is dit schematisch weergegeven.



Figuur B14.2. WKK-d-diagram voor AVI met levering van warmte middels aftap vóór of ván de turbine

De AVI voorziet zelf in het eigen verbruik aan elektriciteit en warmte. Het eigen verbruik aan elektriciteit wordt in mindering gebracht op het bruto WKK-rendement. Voor het netto WKK-rendement geldt:

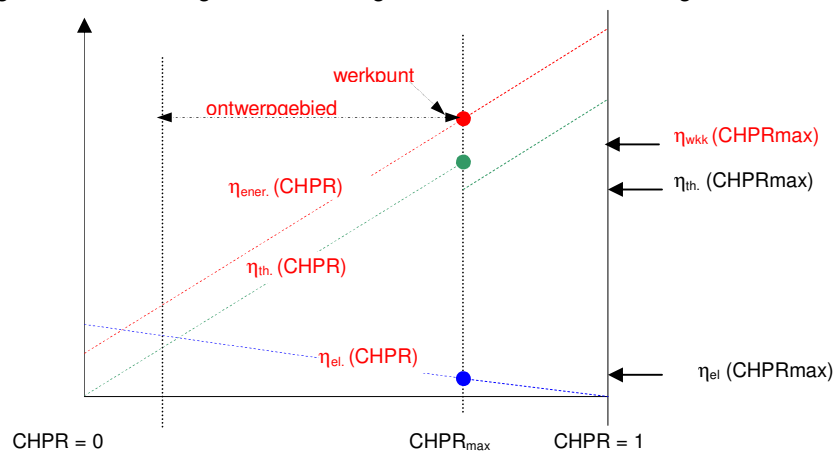
$$\eta_{,netto} = \eta (0 < CHPR < CHPR_{max}) = \frac{E_{netto} + W_{netto}}{Q_{afval} + Q_{brandstof}} \quad (B14.2)$$

### c. WKK middels aftappen van stoom ván de turbine

Hier wordt warmte geleverd door aftappen ván de turbine. Deze configuratie laat zich door hetzelfde WKK-diagram en WKK-functie beschrijven als optie b.

### d. WKK middels tegendrukturbine

Voor de configuratie met een tegendrukturbine geldt onderstaand WKK-diagram.



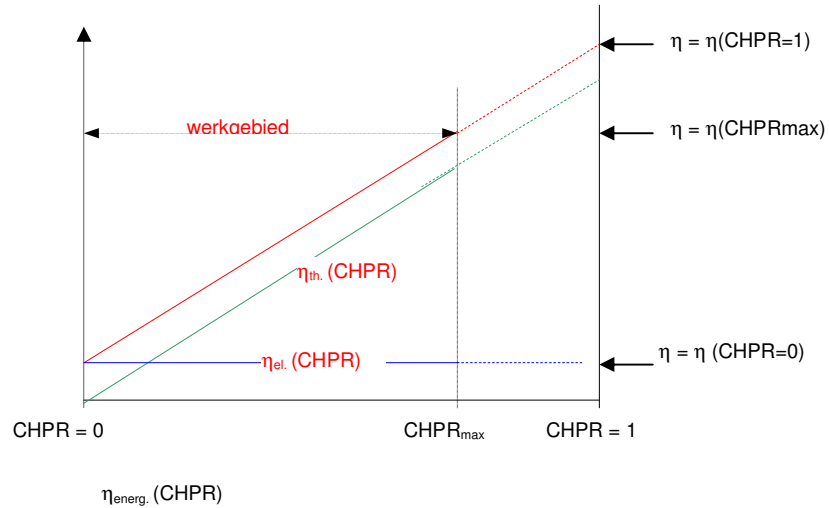
Figuur B14.3. WKK-diagram voor AVI met tegendrukturbine, zonder nood- of dumpcondensor.

Voor het netto energetisch rendement geldt:

$$\eta_{netto} = \eta (CHPR \text{ max}) = \frac{E_{netto} + W_{netto}}{Q_{afval} + Q_{brandstof}} \quad (B14.3)$$

Bovenstaande installatie geeft het ontwerp weer. Eenmaal gebouwd liggen het maximaal te leveren elektrisch en thermisch vermogen vast.

Indien de installatie ook in bedrijf kan zijn zonder levering van warmte, bijvoorbeeld door de lage druk stoom na de turbine in noodkoeler weg te condenseren, dan geldt onderstaand WKK-diagram.



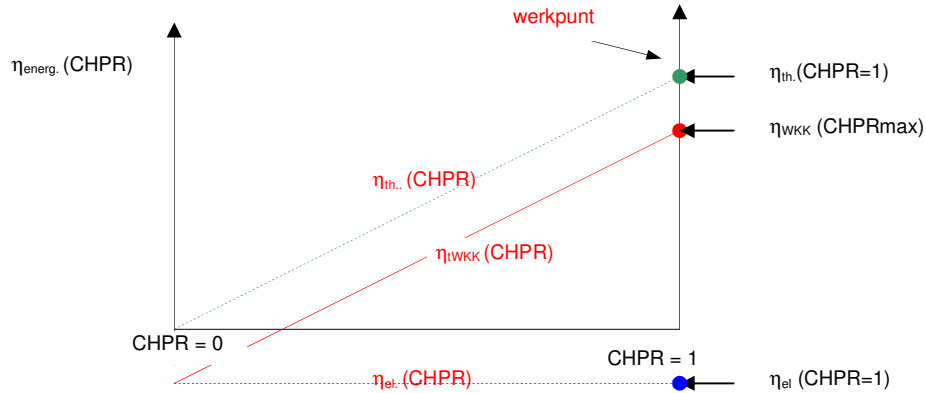
Figuur B14.4 WKK middels tegendrukturbine, voorzien van nood- of dumpcondensor

Voor het netto energetisch rendement geldt:

$$\eta_{netto} = \eta (0 < CHPR_{max} < 1) = \frac{E_{netto} + W_{netto}}{Q_{afval} + Q_{brandstof}} \quad (B14.4)$$

**e. De installatie levert alleen warmte (CHPR = 1)**

Omdat alleen warmte wordt geleverd wordt het eigen verbruik aan elektriciteit geïmporteerd: het netto elektrisch rendement is negatief. Het bruto thermisch rendement moet daarom worden gecorrigeerd voor het geïmporteerd elektrisch vermogen.



Figuur B14.5 WKK-diagram voor AVI die warmte levert middels tegendrukturbine

Voor het netto rendement geldt:

$$\eta(CHPR = 1) = \eta_{therm. netto} = \frac{W_{netto} - E_{e.v.}}{Q_{afval} + Q_{brandstof}} \quad (B14.5).$$

Is, net als bij de hiervoor beschreven configuratie voor de tegendrukturbine, een nood- of dumpcondensor voorzien dan geldt bestrijkt het werkgebied de hele curve en geldt voor het netto rendement:

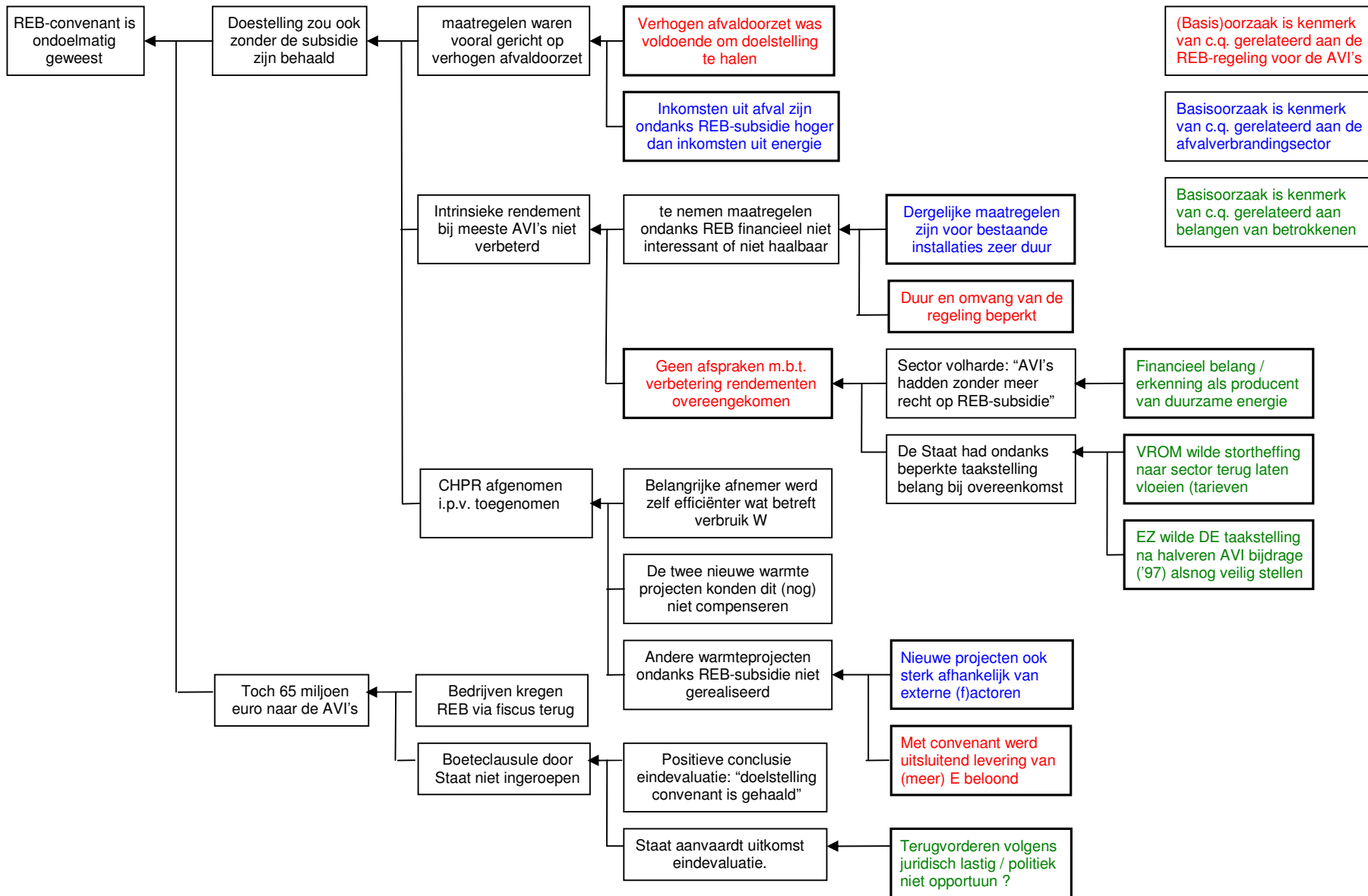
$$\eta(0 \leq CHPR \leq 1) = \eta_{therm. netto} = \frac{W_{netto} - E_{e.v.}}{Q_{afval} + Q_{brandstof}} \quad (B14.6)$$

Het geleverd elektrisch vermogen ligt vast. Het geleverd thermisch vermogen is afhankelijk van de vraag of de lage drukstoom werkelijk aan derden wordt geleverd, of dat de stoom na de turbine via een nood- of dumpkoeler moet worden weg gecondenseerd. Het rendement kan variëren tussen het eigen verbruik aan elektrisch vermogen (negatief rendement) het netto thermisch vermogen.

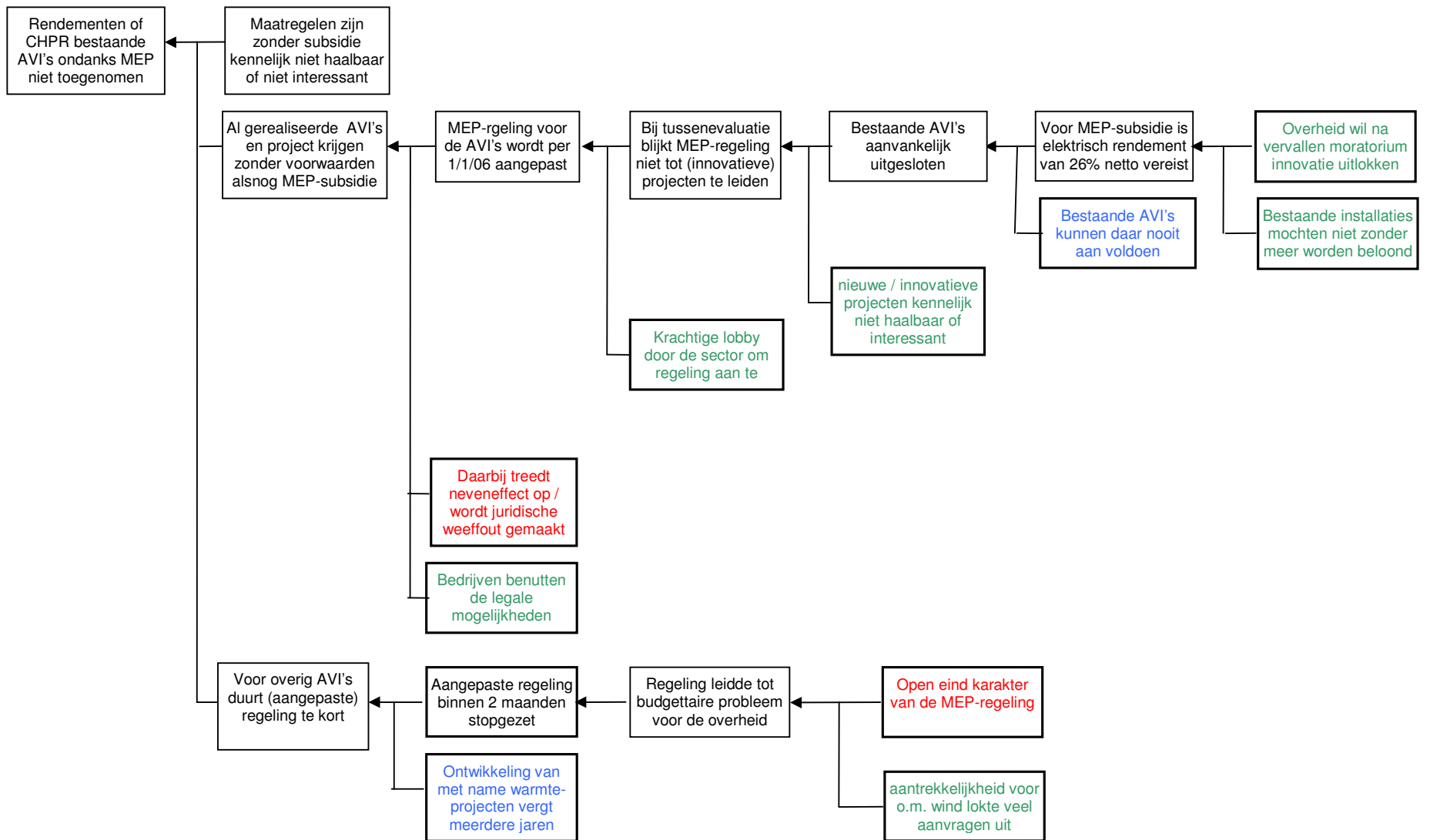




**15. Oorzaak- en gevolg diagram met betrekking tot het REB-convenant**



**16. Oorzaak- en gevolg diagram met betrekking tot de MEP-regeling**



**17. MEP-vergoedingen voor de Afvalverbranders**

Tabel B17.1 MEP-vergoeding voor de AVI's (EZ, 2005a).

	Subsidie in € / kWh		
	Niet zuivere biomassa (integraal afval)	Naar aard zuivere biomassa (afvalhout)	
Bij een gerealiseerd maandrendement van:	Van 1 juli 2003 Tot 1 juli 2006	Vanaf 1 juli 2006 tot	€ / kWh
n < 22 %	n.v.t.	n.v.t.	Vanaf 17/2003 tot 1/1/2005: 0,068  Vanaf 1/1/2005 tot 18/08/2006: 0,097
22 % < n ≤ 23 %	n.v.t.	0,003	
23 % < n ≤ 24 %	n.v.t.	0,005	
24 % < n ≤ 25 %	n.v.t.	0,007	
25 % < n ≤ 26 %	n.v.t.	0,009	
26 % < n ≤ 27 %	0,029	0,011	
27 % < n ≤ 28 %		0,018	
28 % < n ≤ 29 %		0,025	
29 % < n ≤ 30 %		0,032	
N > 30 %		0,038	

Met betrekking tot de vaststelling van de vergoeding geldt:

- Eenmaal een bepaald rendement behaald, geldt het bij die staffel behorende bedrag voor het gehele geleverd elektrisch vermogen.
- Het MEP-rendement wordt berekend als:
  - a. de som van:
    1. de door de Afvalverbrandingsinstallatie of door een AVI-eenheid per kalender maand opgewekte en aan het net of een andere productie-installatie dan de productie-installatie of de AVI-eenheid die de elektriciteit opwekt en geleverde elektriciteit, en
    2. twee derde van de door de afvalverbrandingsinstallatie of door de AVI-eenheid per kalendermaand opgewekte en nuttig aan gewende warmte,
  - b. Gedeeld door het product van:
    1. de massa van het in de afvalverbrandingsinstallatie of de AVI-eenheid per maand verwerkte afval en overige brandstoffen, en
    2. de calorische waarde van het verwerkte afval en de overige brandstoffen.
- Voor de AVI's (verwerking van niet zuivere biomassa) geldt de vergoeding per kWh geleverde "duurzame" elektriciteit. Daartoe wordt jaarlijks het percentage biomassa toegekend, voor 2008 is dat vastgesteld op 48% van de afvalinput (CertiQ, 2009).
- Subsidie wordt verstrekt op basis van door CertiQ afgegeven garanties van oorsprong of GVO's. De AVI dient daartoe een maandrapport in volgens het door deze organisatie goedgekeurde meetprotocol.
- Op basis van groencertificaten voor duurzame elektriciteit opgewekt uit "zuivere biomassa" kunnen zowel MEP-subsidie als het REB-voordeel van artikel 36i, 6e lid van de Wet belastingen op milieugrondslag worden verkregen. (Staatscourant 20 juni 2003, nr. 116 / pag. 1 t/m 14)

**18. Technisch haalbare energie- en exergierendement**



## B18.1 Inleiding

Het technisch haalbare rendement is datgene wat mogelijk is met technieken die bewezen zijn of waarvan verwacht wordt dat ze op korte termijn marktrijp zullen zijn. De installatie hoeft economisch niet haalbaar te zijn. Dat wil zeggen, de netto contante waarde van de investering negatief kan zijn.

## B18.2 Technieken

Ook indien alle afval na inzameling wordt gescheiden voor hergebruik, nuttige toepassing (inzet als secundaire brandstof) of vergisting van het aandeel biomassa, blijven altijd niet schone reststromen over die alsnog op een milieuhygiënisch verantwoorde wijze thermisch moeten worden verwerkt. Daarvoor zijn de drie technieken beschikbaar, vergassing, pyrolyse en verbranding (Wellink & Van der Koogh, 2004a)(Van Halen, Hanekamp, Van hiltten & Zeevalkink, 2000):

### a. Vergassing.

Bij vergassing wordt de koolwaterstoffen omgezet in waterstof en koolmonoxide. Vergassing is op zich geen nieuwe technologieën, de toepassing ervan voor verwerken van (integraal) afval zou dat wel zijn. De voor deze toepassing nog niet bewezen techniek, met een verondersteld elektrisch rendement van 35 - 40 % (AOO; 1998). Vergassing wordt alleen haalbaar geacht voor de verwerking van specifieke afvalstromen zoals hoogcalorische mono stromen als kunststofafval, RDF of schone biomassa (houtsnippen, bermmaaisel), ofwel relatief schone stromen van constante kwaliteit.

Door het productgas direct in een gasmotor te verbranden wordt een bruto elektrisch rendement van 25 % behaald. Door het productgas in grote ketel bij te stoken wordt in de praktijk een bruto elektrisch rendement van 39 % behaald (Wellink & Van der Koogh, 2004b).

### b. Pyrolyse

Bij vacuüm pyrolyse wordt de voeding omgezet in olie, gas en subcoal. Uit de olie kunnen grondstoffen voor de petrochemie worden gewonnen, het gas en de subcoal in een kolencentrale worden bijgestookt. Energierendement van deze route is niet bekend, maar met trommel pyrolyse zou de brandstof voor maximaal 31 % in elektriciteit worden omgezet.

Vergassing en pyrolyse zijn dus niet bij voorbaat ongeschikt voor verwerking van integraal HHA en BA, maar indien rekening wordt gehouden met de noodzakelijke voorbewerking is het netto elektrisch rendement niet hoger dan circa 30%. Bovendien zijn de technologieën zeker voor de grootschalige verwerking van afval nog onvoldoende bewezen. Anno 2006 geldt nog steeds de uitkomst van een eerdere studie waaruit bleek dat voor grootschalige verwerking van heterogene afvalstoffen alleen de wervelbed- en roosteroven voldoende betrouwbaar zijn (OVAM, 1998)<sup>71</sup>.

### c. Wervelbedverbranding

Bij het instellen van het moratorium op roosterovencapaciteit in 1997 werd een uitzondering gemaakt voor nieuwe technieken of installaties met een (elektrisch) rendement van minimaal 30% netto<sup>72</sup>. Daarmee werd vooral bedoeld op verbranding in een wervelbedoven waarin de oververhitter als zandbedkoeler wordt gebruikt, waarlangs verse verbrandingslucht wordt toegevoerd. De meest genoemde voordelen daarvan zijn:

- Door de grotere warmteoverdracht kan het voor chloorcorrosie gevoelige oververhitter verwarmd oppervlak (OVO) veel kleiner worden, waardoor periodieke vervanging goedkoper en technisch ook gemakkelijker uitvoerbaar is. De oververhitter kan dus als slijtstuk worden gezien, wat betrouwbaarheid en beschikbaarheid ten goede komt;
- Door de verdunning van het circulerende rookgas met verse verbrandingslucht zou het probleem van chloorcorrosie minder relevant worden, waardoor zelfs met gebruik van conventionele ketelmaterialen stoom van 480 °C of hoger geproduceerd kunnen worden. Uitgaande van een ketelrendement van 85% zou voor de AVI dan een elektrisch rendement van 30 % netto haalbaar zijn;

---

<sup>71</sup> Overgenomen uit: AVR-bedrijven, Voorstudie thermische verwerkingseenheid fase 1, 12 april 1999.

<sup>72</sup> Op basis van de Energieprestatie maat (EPM)

Ondanks de hier genoemde voordelen is het aantal referenties voor verbranding van huishoudelijk en bedrijfsafval in een wervelbedoven zeer beperkt. Dit wordt verklaard door een aantal praktische beperkingen en nadelen;

- Een stoomtemperatuur van 480 °C of hoger wordt in de praktijk niet toegepast (SOGAMA, Spanje). Voor zover dit in een enkele installatie toch het geval is resulteerde dat in een zeer lage betrouwbaarheid en beschikbaarheid (Lenzing, Oostenrijk) als gevolg van versnelde ketelcorrosie. Leveranciers blijken dan ook erg terughoudend met het verlenen van garanties op de beschikbaarheid of standtijd indien door de eindgebruiker stoom van 430 °C of warmer wordt verlangd;
- In tegenstelling tot een roosteroven moet ook hier al het afval vooraf mechanisch worden verkleind. Deze bewerkingsstap is storingsgevoelig en energie intensief;
- In vergelijking met een roosteroven meer vliegias vrij, dat in tegenstelling tot de bodemas (nog) niet nuttig toepasbaar is en als C2-afval, of na immobilisatie als C3-afval moet worden gestort.

De eind jaren negentig in gebruik genomen centrale van Essent in Cuijk, waar uitsluitend schone biomassa wordt verwerkt en chloorcorrosie derhalve minder relevant is, haalt met stoom van 520 °C / 100 Bar een netto elektrisch rendement van 30 %. Voor een nieuw te bouwen wervelbedoven (stoom van 480 °C en 80 Bar) een elektrisch rendement van 26 - 27% netto berekend (AVR, 2001)<sup>73</sup>. Dit is niet hoger dan wat met een moderne roosteroven ook kan worden bereikt.

De belangrijkste nadelen van bovenstaande technieken zijn de eisen ten aanzien van zowel de deeltjesgrootte als de samenstelling van de voeding. Vanwege de maximale stuksgrootte moet het afval eerst worden verkleind en soms ook worden gedroogd. In het geval van een wervelbedoven of wervelbed vergasser mag de voeding bovendien geen glas of aluminium bevatten (vermijden van sinteren in het zandbed).

Om reden van zowel technische als economische aard is voor HHA, BA of andere niet schone reststromen verbranding in een roosteroven daarom het meest geëigend (KEMA, 1998) (AOO, 1998) (KEMA, 2001). Ondanks het moratorium hebben de afvalverbranders (GDA, AZN, HVC, AVR) daarom voorkeur voor de roosteroven.

### **B18.3 Verbranding in een roosteroven (stand-alone)**

*Afvalenergiebedrijf: HR-AVI*

Gelet op het moratorium en de daarbij gemaakte uitzondering voor installaties met een netto rendement van 30% of meer, is door de Gemeentelijke Dienst Afvalverwerking Amsterdam (GDA), het concept van een hoog rendement AVI uitgewerkt (Van Berlo, 2001)(Van Berlo, persoonlijke communicatie, 12 juli 2007). Om het technisch haalbare rendement principieel te kunnen beoordelen zijn financiële criteria daarin bij voorbaat van ondergeschikt belang gemaakt. Het resultaat was een conceptueel ontwerp (basic design) voor een HR-AVI.

Ter vermindering van de lage temperatuur corrosie wordt in de bestaande afvalgestookte ketels het rookgas niet verder afgekoeld dan 180 á 200 °C. Het ontwerp van de GDA gaat uit van verdere benutting van de verbrandingsenergie door het rookgas in een tweede economiser (ECO II) tot onder het zuurdauwpunt af te koelen en in een derde economiser (ECO-III) een groot deel van de waterdamp te condenseren. Door coaten van de ECO-II (dubbel email, teflon) en gebruik van titanium voor de ECO-III verwacht men de lage temperatuur corrosie te kunnen vermijden. Door het beperkte schoorsteenverlies, de zeer beperkte luchtvermaat (rest O<sub>2</sub> < 6%) en terugwinning van laagwaardige restwarmte via de roosterkoeling en ontslakker wordt een ketelrendement van 84% berekend. Na aftrek van het eigen verbruik komt dit overeen met een thermisch rendement van circa 76% netto.

Ten gunste van het carnot-rendement werd is in de studie van de GDA tevens de hoogst haalbare stoomtemperatuur verkend. Daarbij bleek dat met de voor AVI's typische ketelconfiguratie (verdampers vóór de oververhitter), het opwekken van stoom met een temperatuur van 520 °C en

---

<sup>73</sup> In de berekening van het netto rendement van de thermische verwerking was het energieverbruik van de voorscheiding en verkleining van het afval buiten beschouwing gelaten.

een druk van 120 Bar<sup>74</sup> thermodynamisch gezien niet mogelijk is (Van Berlo, 2001). Als alternatief is daarom gekozen voor stoom van 480 °C en 125 Bar, die in een tweetraps turbine met tussenverhitting zal worden afgewerkt. De combinatie met het hoge thermisch rendement resulteert in een elektrisch rendement van 35,3% bruto en circa 30,5% netto. Door de gehele ketel met een Chroom/Nikkel legering op te lassen tracht men de hoge temperatuurcorrosie te beheersen. Bovendien worden corrosie gevoelige keteldelen zodanig geconstrueerd dat ze eenvoudig uitwisselbaar zijn. Daarnaast is een terugvalscenario voorzien waarin de installatie ook met gereduceerde stoomparameters (i.e. lagere stoomtemperatuur) bedreven zou kunnen worden. Het elektrisch rendement zal in dat geval wel lager zijn.

#### NOVEM

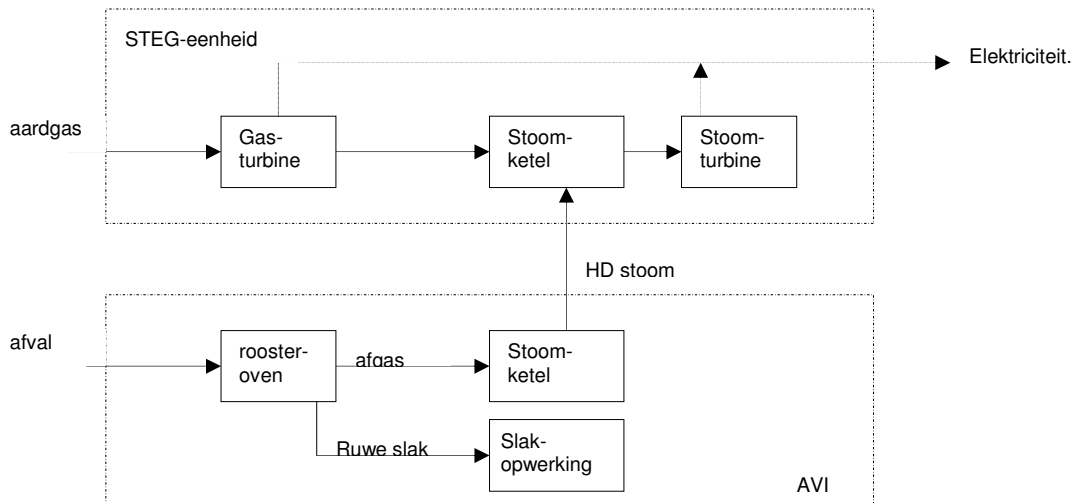
In 2001 zijn opdracht van NOVEM en in overleg met vertegenwoordigers uit de sector zijn verschillende technisch haalbare ontwerpen voor een nieuwe AVI financieel doorgerekend. In deze studie werd onderscheid gemaakt tussen de commerciële bedrijfszekere varianten (stoom 350°C) en de hoog rendement of HR - AVI's (stoomtemperatuur 520°C). Alhoewel technologieverkenning in dit onderzoek geen doel op zich was, bleek ook hier dat met stoom van 520°C / 80 bar en toepassing van een tweetraps turbine met tussenverhitting zou een elektrisch rendement van 32,5% bruto en 30,7% netto mogelijk zou zijn (Rijkema, Temmink, Potma & De Vries, 2001). Opgemerkt moet worden dat voor de definitie van de in dit onderzoek economisch doorgerekende variant het (voor)ontwerp van het AEB mede als uitgangspunt is genomen.

Het ontwerp van de turbine in HR variant uit de NOVEM studie wijkt af van het ontwerp van het AEB. De HR AVI van het AEB heeft een hoger bruto rendement maar ook een hoger eigen verbruik (E en W) als gevolg van de meer complexe stoom- en waterkringloop en de uitgebreidere rookgasreiniging in vergelijking met de uitvoering in de NOVEM -studie. Daardoor zijn de netto rendementen voor de beide varianten nagenoeg gelijk.

Ondanks dat de installatie zich anno 2009 nog moet bewijzen wat betreft de betrouwbaarheid en netto elektrisch rendement, het ontwerp van de HR-AVI van het afval energiebedrijf het technisch haalbare rendement voor een stand alone AVI representeert. Dat wil zeggen een ketelrendement van 87 %, een intrinsiek thermisch rendement van 83% netto en een intrinsiek elektrisch rendement van 30 % netto.

#### B18.4 Verbranding in een Roosteroven (Co-siting met STEG-eenheid)

De in 1997 in gebruik genomen installatie van AZN te Moerdijk wekt zelf geen elektriciteit op maar levert de stoom (400 °C, 100 Bar) aan een stoom- en gasturbine (STEG)-eenheid. Die voorziet de AVI van ketelvoedingwater en elektriciteit voor eigen verbruik. Zie figuur B18.1.



Figuur B18.1 Stoomzijdige integratie AZN met STEG-eenheid

<sup>74</sup> Ook hier was het streven de stoomparameters zodanig te kiezen dat de stoom in één turbinetrap zou kunnen worden afgewerkt. Een twee-traps turbine met tussenverhitting is complexer en maakt de installatie ook duurder.

De drie gasturbines hebben een (bruto) elektrisch rendement van ruim 35%. De stoomturbine voegt daar nog eens de helft aan toe zodat het totale (bruto) rendement uitkomt op ruim 50%. De door de AVI geproduceerde stoom wordt voor de laatste oververhitter van stoomketels van de STEG toegevoegd. Door de meeropbrengst (ca 280 KWh/ton stoom) aan de AVI toe te rekenen wordt door de AVI netto elektrisch rendement van circa 29% gerapporteerd.

### B18.5 Technisch haalbare rendement

Geconcludeerd wordt dat voor het verwerken van integraal (huishoudelijk en bedrijfsafval, technieken als vergassing of pyrolyse geen hoger energierendement kan worden behaald dan met een nieuwe roosteroven. Het ontwerp van de HR-AVI van het Afval energiebedrijf representeert het technisch haalbare voor een stand-alone installatie. Het technisch haalbare rendement voor een AVI met co-siting wordt hier bepaald door het ketel, het bruto thermisch en het bruto elektrisch rendement van AZN voor het ketelrendement van de HR-AVI te extrapoleren. In tabel B18.1 zijn de technisch haalbare rendementen energie en exergie weergegeven.

Tabel B18.1. Technisch haalbare rendement voor afvalverbranding

	Stand-alone AVI		Co-siting met STEG	
Voorbeeld	HR-AVI		AZN, met ketel van de HR-AVI	
Stoomdruk / temperatuur	125 bar / 460 °C		100 Bar / 400 °C	
<b>Rendement o.b.v.</b>	Energie	exergie	energie	exergie
$\eta_{\text{ketel}}$	87 %	47 %	87 %	36 %
$\eta_{\text{thermisch, bruto}}$ (CHPR=1)	83 %	40 %	83 %	35 %
$\eta_{\text{thermisch, netto}}$ (CHPR=1)	79 %	35 %	79 %	31 %
$\eta_{\text{elektrisch, bruto}}$ (CHPR=0)	35 %	35 %	35 %	35 %
$\eta_{\text{elektrisch, netto}}$ (CHPR=0)	30 %	30 %	31 %	31 %

#### Levering van uitsluitend elektriciteit

De synergie met de STEG resulteert erin dat ondanks het lagere exgerierendement bij CHPR =1 van de AVI met co-siting, een gelijk bruto elektrisch rendement kan worden behaald. Door het lagere eigen verbruik (eenvoudigere stoom- en waterkringloop) kan met de co-siting een 1% punt hoger netto elektrisch rendement worden behaald. Bovendien leidt de synergie ook tot een kostenvoordeel. De STEG moet in haar ontwerp rekening houden toevoer van AVI-stoom in de oververhitter van haar ketel, maar voor de AVI beperkt de investering in de stoom- en waterkringloop zich tot een ketel.

Als het uitsluitend gaat om levering van hoogwaardige warmte, dan is het exgerierendement bij CHPR=1 van de stand-alone AVI maatgevend. Afhankelijk van de vraag zal worden gekozen voor een tegendruk- of aftapturbine.



**Bijlage**  
**19. SDE-regeling voor de AVI's**

## B19.1 Verbranding Hernieuwbare elektriciteit m.b.v. van afvalverbranding

Kenmerken van de SDE-regeling voor de AVI's zijn (SenterNovem, 2009a; 2009b):

- In aanmerking komt de productie van hernieuwbare elektriciteit geproduceerd met behulp van afvalverbranding, waarbij het gewogen maandelijks rendement hoger moet zijn dan 22 %.
- De aanvraagperiode voor deze subsidie 6 april 2009 tot en met 30 oktober 2009.
- Bij de verdeling van de subsidies is de volgorde van binnenkomst van de aanvraag is bepalend.
- De subsidie is afhankelijk van het rendement van de installatie.
- De subsidie geldt voor een periode van 15 jaar.
- Voor 2009 bedraagt het totale budget voor de SDE-regeling 2.585 miljoen euro, exclusief het budget voor Wind op Zee. Daarvan is in totaal € 158 miljoen beschikbaar voor de categorie afvalverbranding (subsidieplafond).
- De subsidie wordt toegekend op basis van maximaal 3.840 vollast uren per jaar. Met uitgangspunt dat 48% van de productie als biogene fractie van de totale productieraming als uitgangspunt geldt.
- Het rendement wordt berekend op basis van de Regeling garanties van oorsprong. Deze regeling wordt uitgevoerd door CertiQ en gaat uit van het gewogen maandelijks rendement<sup>75</sup>. Zie ook [www.CertiQ.nl](http://www.CertiQ.nl).
- De aanvrager kan passubsidie aanvragen als hij in het bezit is van de benodigde (milieu)vergunningen voor de installatie waarvoor subsidie wordt aangevraagd. Deze vergunningen moeten met de aanvraag worden meegestuurd. De vergunning moet in overeenstemming zijn met het type installatie, het opgesteld vermogen en de hoogte van de tonnages waarvoor subsidie wordt aangevraagd.

## B19.2 Subsidiebedragen en correctiebedragen

In onderstaande tabel zijn de SDE-bedragen voor de afvalverbranders weergegeven.

Tabel B19.1. SDE-vergoeding voor de AVI's (EZ, 2009)(SenterNovem, 2009e)

	Subsidie in € / kWh		
	Basisbedrag 2008 en 2009	Correctiebedrag 2008 en 2009 <sup>76</sup>	subsidie
n < 22 %	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
22 % < n ≤ 23 %	0,115	0,146	nihil
23 % < n ≤ 24 %	0,115	0,146	nihil
24 % < n ≤ 25 %	0,115	0,146	nihil
25 % < n ≤ 26 %	0,117	0,146	nihil
26 % < n ≤ 27 %	0,119	0,146	nihil
27 % < n ≤ 28 %	0,121	0,146	nihil
28 % < n ≤ 29 %	0,125	0,146	nihil
29 % < n ≤ 30 %	0,130	0,146	nihil
30 % < n ≤ 31 %	0,133	0,146	nihil
N > 31 %	0,137	0,146	nihil

Omdat de werkelijke elektriciteitsprijs hoger was dan de kostprijs van de AVI-stroom, zijn de bedragen voor 2008 en 2009 nihil.

<sup>75</sup> Zie ook [www.CertiQ.nl](http://www.CertiQ.nl).

<sup>76</sup> Voor 2009 betreft het voorlopige bedragen.

**20. BBT met betrekking tot energie uit afval**



## Document: BREF Waste incineration (Augustus 2006)

### par. 5.2: Specific BAT for municipal waste

- BBT nr. 26: “the overall optimisation of installation energy efficiency and energy recovery, taking into account the techno-economic feasibility (with particular reference to the high corrosivity of the flue-gases that results from the incineration of many wastes e.g. chlorinated wastes), and the availability of users for the energy so recovered, as described in 4.3.1, and in general:
- a. to reduce energy losses with flue-gases, using a combination of the techniques described in 4.3.2 and 4.3.5
  - b. the use of a boiler to transfer the flue-gas energy for the production of electricity and/or supply of steam/heat with a thermal conversion efficiency of:
    - i. for mixed municipal waste at least 80 % (ref. Table 3.46)
    - ii. for pretreated municipal wastes (or similar waste) treated in fluidised bed furnaces, 80 to 90 %
    - iii. for hazardous wastes giving rise to increased boiler corrosion risks (typically from chlorine/sulphur content), above 60 to 70 %
    - iv. for other wastes conversion efficiency should generally be increased in the range 60 to 90 %
  - c. for gasification and pyrolysis processes that are combined with a subsequent combustion stage, the use of a boiler with a thermal conversion efficiency of at least 80 %, or the use of a gas engine or other electrical generation technology
- BBT nr. 27: to secure where practicable, long-term base-load heat/steam supply contracts to large heat/steam users (see 4.3.1) so that a more regular demand for the recovered energy exists and therefore a larger proportion of the energy value of the incinerated waste may be used
- BBT nr. 28. the location of new installations so that the use of the heat and/or steam generated in the boiler can be maximised through any combination of:
- a. electricity generation with heat or steam supply for use (i.e. use CHP)
  - b. the supply of heat or steam for use in district heating distribution networks
  - c. the supply of process steam for various, mainly industrial, uses (see examples in 4.3.18)
- BBT nr. 29. in cases where electricity is generated, the optimisation of steam parameters (subject to user requirements for any heat and steam produced), including consideration of (see 4.3.8):
- a. the use of higher steam parameters to increase electrical generation, and
  - b. the protection of boiler materials using suitably resistant materials (e.g. claddings or special boiler tube materials)
- The optimal parameters for an individual installation are highly dependent upon the corrosivity of the flue-gases and hence upon the waste composition.
- BBT nr. 30. the selection of a turbine suited to:
- a. the electricity and heat supply regime, as described in 4.3.7
  - b. high electrical efficiency

### Par. 5.2: Specific BAT for municipal waste:

- BBT nr. 61: “the location of new installations so that the use of CHP and/or the heat and/or steam utilisation can be maximised, so as to generally exceed an overall total energy export level of 1.9 MWh/tonne of MSW (ref. Table 3.42), based on an average NCV of 2.9 MWh/tonne (ref. Table 2.11)”
- BBT nr. 62: “In situations where less than 1.9 MWh/tonne of MSW (based on an average NCV of 2.9 MWh /tonne) can be exported, the greater of:
- a. the generation of an annual average of 0.4 – 0.65 MWh electricity/tonne of MSW (based on an average NCV of 2.9 MWh/tonne (ref. Table 2.11)

processed (ref. Table 3.40), with additional heat/steam supply as far as practicable in the local circumstances<sup>8</sup>, or

- b. the generation of at least the same amount of electricity from the waste as the annual average electricity demand of the entire installation, including (where used) on-site waste pre-treatment and on-site residue treatment operations (ref. Table 3.48)”

BBT nr. 63: “To reduce average installation electrical demand (excluding pre-treatment or residue treatment) to be generally below 0.15 MWh/tonne of MSW processed (ref. Table 3.47 and section 4.3.6) based on an average NCV of 2.9 MWh/tonne of MSW (ref. Table 2.11)”

### **Par. 5.3: BBT for pre-treated or preselected waste**

BBT nr. 66: “At new and existing installations, the generation of the greater of:  
a. an annual average of generally at least 0.6 – 1.0 MWh electricity/tonne of waste (based on an average NCV of 4.2 MWh/tonne), or  
b. the annual average electricity demand of the entire installation, including (where used) on-site waste pre-treatment and on-site residue treatment operations”

BBT nr. 67: the location of new installations so that:  
a. as well as the 0.6 – 1.0 MWh/ tonne of electricity generated, the heat and/or steam can also be utilised for CHP, so that in general an additional thermal export level of 0.5 – 1.25 MWh/tonne of waste (ref. section 3.5.4.3) can be achieved (based on an average NCV of 4.2 MWh/tonne), or  
b. where electricity is not generated, a thermal export level of 3 MWh/tonne of waste can be achieved (based on an average NCV of 4.2 MWh/tonne)”

BBT nr. 68: to reduce installation energy demand and to achieve an average installation electrical demand (excluding pre-treatment or residue treatment) to generally below 0.2 MWh / tonne of waste processed (ref. Table 3.47 and section 4.3.6) based on an average NCV of 4.2 MWh/tonne of waste



**21. Betrouwbaarheidsinterval berekende installatie-eigen rendementen**

## B21.1 Inleiding

Bij de evaluatie van het REB-convenant en de MEP-regeling voor de AVI's, zijn de conclusies getrokken op basis de ontwikkeling van het gemiddelde intrinsiek netto thermisch rendement, het intrinsiek netto elektrisch rendement en de CHPR. Omdat niet alle gegevens exact bekend waren zijn daarvoor aannames gedaan. Met deze aannames worden mogelijk ook fouten en dus onzekerheid over de berekende rendementen alsmede de daaraan verbonden conclusies geïntroduceerd. Voor waardering van de conclusies is inzicht in de grootte van onzekerheid van belang.

## B21.1 Aannames

### Brandstofinput

De installatie-eigen rendementen worden betrokken op de totale brandstofinput van de AVI's. Die kan bestaan uit:

- a. Ondersteuningsbrandstof  
De energie-input wordt bepaald als de som van de brandstofwaarde van het toegevoerde afval en ondersteuningsbrandstof. Het verbruik aan (fossiele) ondersteuningsbrandstof bedraagt ongeveer 2% van de totale brandstofinput. Daarover waren alle gegevens bekend, het effect van eventuele onnauwkeurigheden in gerapporteerde gegevens is gelet op de relatieve bijdrage nihil.
- b. Stookwaarde van het afval niet altijd bekend  
Wat betreft de afvalinput worden aangevoerde hoeveelheden middels een geijkte weegbrug geregistreerd. Alle gegevens daarover waren bekend.

Over de periode 1997-2005 was voor een aantal AVI's de (jaargemiddelde) stookwaarde niet bekend. In die gevallen (circa 20% van de brandstof input) is op basis van interpolatie een schatting gedaan. Bij de gemiddelde stookwaarde van 10 GJ/ton werkt een daarmee eventueel gemaakte fout van 0,2 GJ/ton voor 2% (relatief) door in de berekende rendementen.

### Ketelrendement

Het ketelrendement hier gedefinieerd als het quotiënt van de teruggewonnen energie (verschil in enthalpie van de geproduceerde stoom of heetwater en enthalpie van het ketelvoedingwater) en de totale energie-input. Daarbij zijn de volgende aannames gedaan:

- c. Temperatuur van de geproduceerde stoom of heetwater  
In die gevallen waarin de werkelijke (jaargemiddelde) temperatuur van de geproduceerde stoom niet bekend was, is hiervoor de ontwerptemperatuur aangehouden. De gevoeligheid van het ketelrendement voor verandering in de temperatuur van de geproduceerde stoom bedraagt per 10 °C ongeveer 4,2 % punt. Voor circa 80% van totale energie-input is de temperatuur van de geproduceerde stoom de ontwerptemperatuur aangenomen.  
  
Een afwijking van 10 °C tussen de aangenomen en werkelijke stoomtemperatuur werkt daarmee 3,5 %-punt door in het berekende ketelrendement.
- d. Temperatuur van het ketelvoedingwater  
In de praktijk ligt de temperatuur van het ketelvoedingwater bij AVI's tussen 135 °C en 150 °C. Omdat werkelijke temperaturen niet bekend waren is hiervoor een constante waarde van 140 °C aangenomen. Een afwijking van 10 °C tussen de hier aangenomen en werkelijke temperatuur werkt voor minder dan 0,1 % punt door in het ketelrendement.

De maximale fout als gevolg van de aanname voor ketelvoedingwatertemperatuur is verwaarloosbaar in vergelijking met de mogelijke fout als gevolg van de aanname voor stoomtemperatuur.

Verondersteld wordt dat de werkelijke stoomtemperatuur over de beschouwde periode (1997 – 2005) gemiddeld niet meer dan 10 °C is geweest. Dan is de maximale fout in het berekende ketelrendement als gevolg van onvolledige gegevens c.q. gemaakte aannames circa 3,5% punt

#### Intrinsiek bruto thermisch rendement

Het intrinsiek bruto thermisch rendement is in dit onderzoek gedefinieerd als het quotiënt van de maximale hoeveelheid te leveren warmte en de totale energie-input van de AVI. Daarvoor is volledig inzicht nodig in de stoombalans over de turbine(s), condensor en ontgassers. Indien die gegevens voor een AVI's niet bekend waren, is de volgende werkwijze gevolgd:

- e. Berekening van het intrinsiek bruto thermisch rendement  
Indien geen volledige stoombalans over de turbine bekend was, is het bruto thermisch rendement berekend door het ketelrendement te corrigeren voor het eigen verbruik aan warmte. Hier geldt dezelfde fout als voor het ketelrendement.
- f. Eigen verbruik aan warmte niet altijd bekend  
Niet voor alle AVI's was het eigen verbruik aan warmte bekend. Voor die AVI's waarvan dit wel bekend was (circa 50 % van de energie-input van de AVI's) bedroeg het verschil tussen het ketel- en bruto thermisch rendement 3 tot 7 %, met een (gewogen) gemiddelde van 5%.

Voor de overige AVI's is tussen het ketelrendement en het bruto thermisch rendement een verschil van 5 %-punt aangenomen. Een fout van 2 %-punt werkt voor dan 1 %-punt door in het gemiddelde bruto- en daarmee ook gemiddelde netto thermisch rendement van het AVI park.

De totale fout als gevolg van onvolledige gegevens c.q. gedane aannames, bedraagt dan

$$\sqrt{3,5^2 + 1^2} = 3,6 \% \quad (\text{absoluut}) \quad (\text{B21.1})$$

Het intrinsiek bruto thermisch rendement bedroeg in 2005 dus  $58,6 \pm 3,6 \%$ .

#### Intrinsiek netto thermisch rendement

Voor alle AVI's waren het opgewekt vermogen en het netto geleverd vermogen of eigen verbruik bekend. Daarvoor hoefden geen aannames te worden gedaan. De maximale fout als gevolg van onvolledige gegevens c.q. gedane aannames, is daarmee gelijk aan die voor het intrinsiek bruto thermisch rendement.

Het gemiddeld intrinsiek netto thermisch rendement bedroeg in 2005 , ofwel 3,6 %-punt.

#### Intrinsiek bruto elektrisch rendement

Het bruto en netto elektrisch rendement zijn gedefinieerd als het quotiënt van geproduceerd respectievelijk geleverd elektrisch vermogen en de totale energie-input van de AVI.

Voor alle installaties waren het bruto opgewekt en het netto geleverd vermogen of eigen verbruik bekend. Het gerapporteerde elektrisch vermogen wordt in de praktijk geregistreerd op basis van geijkte metingen. Omdat geen aannames werden gedaan, zijn daarmee ook geen fouten geïntroduceerd. Een fout van 0,2 GJ/ton in de aangenomen stookwaarden werkt voor circa 0,4 %-punt door in het bruto elektrisch rendement.

#### Intrinsiek netto elektrisch rendement

Een afwijking van 0,2 GJ/ton tussen de aangenomen en werkelijke stookwaarden werkt voor 0,35 %-punt door in het netto elektrisch rendement. Het gemiddeld intrinsiek netto elektrisch rendement bedroeg in 2005 dus  $18,3 \pm 0,4 \%$ .

#### CHPR

De CHPR is berekend als de werkelijke hoeveelheid geleverde warmte, gedeeld door het theoretisch te leveren thermisch vermogen. Het werkelijk geleverd thermisch vermogen was steeds bekend. Het theoretisch te leveren thermisch vermogen is het product van de totale brandstofinput en het intrinsiek bruto thermisch rendement. De Mogelijke fout als gevolg van aannames voor stookwaarde en stoomtemperatuur bedraagt dan:

$$\sqrt{3,5^2 + 2^2} = 4,0 \% \quad (\text{relatief}) \quad (\text{B21.2})$$

In 2005 was de gemiddelde CHPR voor de AVI's  $0,095 \pm 0,004$ .



**22. Energiegegevens van de 11 AVI's (evaluatie REB- en MEP-regeling)**



Tabel B22.1 Stookwaarde van het verwerkte afval

	afval in [ton]											Totaal
	SITA Roosendaal	HVC Dordrecht	ARN Weurt	Twence Hengelo	AVR Duiven	AVR Rotterdam	Essent Wijster	HVC Alkmaar	AZN Moerdijk	AEB Amsterdam	AVR Rozenburg	
1996	40.000	146.139	169.648		257.948	376.354	308.718	436.780		773.533	967.641	3.478.757
1997	46.161	107.700	253.433	132.000	249.226	392.000	320.110	430.994	551.227	780.460	1.040.338	4.305.646
1998	49.441	193.700	237.387	288.000	298.188	385.047	413.475	449.975	561.425	790.698	976.701	4.646.035
1999	54.767	170.777	250.169	287.736	301.015	385.519	433.058	450.239	603.077	789.395	1.133.000	4.860.751
2000	54.000	215.000	239.078	284.000	315.134	391.000	441.000	448.114	604.820	801.000	1.098.144	4.893.290
2001	50.000	212.000	244.867	289.000	336.056	375.000	425.254	465.432	490.762	795.000	1.089.004	4.774.376
2002	52.000	207.000	269.318	288.500	339.708	382.979	422.292	464.078	627.281	817.977	1.119.437	4.992.572
2003	54.000	204.000	270.318	303.000	341.368	372.186	413.905	465.000	628.375	829.406	1.125.273	5.008.834
2004	55.069	206.991	269.585	306.500	335.738	388.004	483.119	458.217	659.638	853.692	1.074.891	5.093.448
2005	51.016	203.487	264.138	305.000	331.733	373.865	556.604	674.515	645.000	865.690	1.163.766	5.436.819
2006	55.347	195.903	257.160	289.000	345.342	386.242	546.918	665.898	654.010	859.164	1.197.000	5.453.990
2007	59.000	203.000	244.000	291.000	352.000	384.172	594.000	681.000	652.482	852.921	1.174.000	5.489.582

Tabel B22.2 Stookwaarde van het verwerkte afval (rode schuin gedrukte getallen zijn schattingen o.b.v. interpolatie)

	stookwaarde verbrand afval in [GJ/ton]											Totaal
	SITA Roosendaal	HVC Dordrecht	ARN Weurt	Twence Hengelo	AVR Duiven	AVR Rotterdam	Essent Wijster	HVC Alkmaar	AZN Moerdijk	AEB Amsterdam	AVR Rozenburg	
1996	8,3	9,5	13,5		9,7	9,5	12,0	10,2		9,6	9,0	9,9
1997	8,8	9,9	13,5	11,6	9,2	9,0	12,5	10,1	9,7	9,5	8,9	9,9
1998	8,8	10,1	13,5	10,3	9,6	9,0	12,1	9,7	9,8	9,7	9,3	10,0
1999	8,9	9,5	13,5	10,1	9,5	9,1	12,5	9,7	9,6	9,5	9,1	9,9
2000	8,4	9,8	<b>13,5</b>	9,9	9,0	9,1	<b>12,6</b>	9,7	9,9	9,7	9,2	10,0
2001	9,1	9,6	<b>13,5</b>	9,6	9,4	9,1	<b>13,3</b>	9,4	10,0	9,8	8,8	9,9
2002	8,9	9,8	<b>13,5</b>	9,7	9,3	9,1	12,8	9,2	9,3	10,0	9,0	9,9
2003	9,5	9,6	<b>12,4</b>	9,8	9,3	9,5	13,2	9,7	9,4	9,3	9,3	9,9
2004	9,1	9,6	<b>12,4</b>	10,5	9,5	<b>9,3</b>	<b>11,2</b>	9,5	9,4	9,4	9,3	9,8
2005	9,5	9,9	12,4	10,6	9,7	9,4	9,3	9,3	9,6	9,7	9,3	9,7
2006	9,1	10,1	12,4	10,8	9,7	9,3	9,5	9,5	10,1	10,0	9,2	9,8
2007	9,4	9,9	12,4	10,8	9,9	9,4	9,5	10,0	10,1	10,0	9,4	9,9

Tabel B22.3 Ondersteuningsbrandstof en import van E of W

	ondersteuningsbrandstof (fossiel) en import E of W in [GWh]											
	SITA Roosendaal	HVC Dordrecht	ARN Weurt	Twence Hengelo	AVR Duiven	AVR Rotterdam	Essent Wijster	HVC Alkmaar	AZN Moerdijk	AEB Amsterdam	AVR Rozenburg	totaal
1996	0	5	61		3	0	90	144		0	10	313
1997	3	32	70	21	5	0	79	135	27	0	10	382
1998	1	52	67	36	2	0	85	142	20	0	15	420
1999	11	46	36	32	2	0	80	145	13	0	9	374
2000	11	51	29	31	3	13	78	168	14	0	18	415
2001	10	53	28	31	4	14	75	125	16	0	24	380
2002	11	53	29	29	4	16	72	182	14	0	19	429
2003	11	52	27	28	1	11	65	99	12	0	21	326
2004	9	53	28	28	2	8	78	58	8	0	28	301
2005	9	59	31	28	3	11	82	104	11	0	25	363
2006	9	39	32	28	4	1	82	93	9	0	30	326
2007	9	38	30	26	4	0	82	94	8	0	30	321

Tabel B22.4 totale input van afval en fossiele brandstof (rode schuin gedrukte getallen zijn schattingen o.b.v. interpolatie)

	totaal afval / brandstof / import van energie [GWh]											
	SITA Roosendaal	HVC Dordrecht	ARN Weurt	Twence Hengelo	AVR Duiven	AVR Rotterdam	Essent Wijster	HVC Alkmaar	AZN Moerdijk	AEB Amsterdam	AVR Rozenburg	totaal
1996	92	401	697		698	991	1119	1382		2055	2422	9856
1997	116	331	1021	449	639	980	1191	1344	1512	2056	2595	12233
1998	122	600	957	865	795	963	1475	1354	1549	2123	2530	13332
1999	146	500	974	843	797	971	1584	1358	1622	2083	2884	13763
2000	137	643	925	817	790	1001	1622	1375	1677	2158	2826	13971
2001	138	623	946	806	878	962	1646	1340	1373	2168	2680	13559
2002	146	620	1039	810	879	985	1573	1368	1640	2281	2829	14170
2003	154	602	958	856	884	993	1583	1345	1649	2131	2919	14076
2004	149	610	957	926	883	1010	1581	1270	1738	2234	2805	14163
2005	144	625	941	930	897	984	1519	1847	1731	2331	3023	14972
2006	149	608	918	899	938	993	1525	1856	1835	2382	3089	15190
2007	163	614	870	909	972	1008	1649	1986	1838	2363	3095	15468

Tabel B22.5 eigen verbruik elektrisch vermogen

	eigen verbruik elektriciteit bij min levering W [CHPR=0]											totaal
	SITA Roosendaal	HVC Dordrecht	ARN Weurt	Twence Hengelo	AVR Duiven	AVR Rotterdam	Essent Wijster	HVC Alkmaar	AZN Moerdijk	AEB Amsterdam	AVR Rozenburg	
1996	6,8	3,5	5,0		3,2	5,6	3,8	3,3		3,0	4,1	3,9
<b>1997</b>	7,3	5,4	4,5	4,0	3,7	5,9	4,5	3,8	3,5	2,9	4,0	4,0
1998	7,2	4,8	4,5	3,9	3,7	6,1	3,7	4,1	3,7	2,8	4,0	4,0
1999	4,8	5,2	4,6	3,9	4,0	6,1	4,4	4,0	3,8	2,9	3,8	4,1
2000	5,5	4,7	4,8	4,0	3,8	5,9	4,0	3,9	3,7	2,9	3,8	4,0
2001	5,6	4,9	4,7	3,9	3,5	6,1	3,6	4,0	4,0	2,8	4,0	4,0
2002	5,7	5,0	4,4	4,4	3,4	5,9	3,7	4,0	3,8	2,7	3,8	3,9
2003	5,2	5,1	4,4	4,5	3,7	5,7	3,6	4,2	4,0	2,9	3,8	4,0
2004	5,2	5,1	4,3	4,1	4,1	5,6	3,9	4,9	3,8	2,9	3,7	4,0
2005	5,0	4,9	4,3	4,1	4,2	5,6	3,9	4,3	3,8	2,8	3,6	4,0
2006	5,4	5,0	4,4	4,1	4,0	5,6	4,1	4,6	3,6	2,9	3,8	4,0
2007	4,9	5,0	4,6	4,1	4,2	5,5	3,6	4,3	3,6	3,4	3,7	4,0

Tabel B22.6 Netto geleverd elektrisch vermogen

	E-netto geleverd [GWh]											totaal
	SITA Roosendaal	HVC Dordrecht	ARN Weurt	Twence Hengelo	AVR Duiven	AVR Rotterdam	Essent Wijster	HVC Alkmaar	AZN Moerdijk	AEB Amsterdam	AVR Rozenburg	
1996	-6	19	75		44	99	174	255		449	315	1424
1997	-8	12	117	48	71	109	217	285	433	451	365	2098
1998	-9	35	118	141	100	107	245	287	472	470	336	2302
1999	-7	20	121	147	92	110	298	291	506	471	429	2478
2000	-8	42	115	141	100	110	299	303	517	482	425	2525
2001	-8	37	128	103	104	104	306	273	407	478	408	2340
2002	-8	35	138	145	101	112	295	274	465	480	432	2469
2003	-8	32	143	157	100	115	299	272	488	524	426	2548
2004	-8	29	150	153	92	126	295	271	524	528	361	2521
2005	-7	35	159	163	94	118	285	415	521	545	413	2742
2006	-8	37	151	142	100	125	285	406	538	541	433	2749
2007	-8	36	132	162	111	124	290	407	519	530	455	2758

Tabel B22.7 netto geleverd thermisch vermogen

	W-netto geleverd (energie) in GWh												totaal
	SITA	HVC	ARN	Twence	AVR	AVR	Essent	HVC	AZN	AEB	AVR		
	Roosendaal	Dordrecht	Weurt	Hengelo	Duiven	Rotterdam	Wijster	Alkmaar	Moerdijk	Amsterdam	Rozenburg		
1996	24	2	0		122	0	0	0		0	803	950	
1997	28	5	0	0	107	0	0	0	0	0	806	946	
1998	26	2	0	0	115	0	0	0	0	0	695	837	
1999	25	1	0	0	124	0	0	0	0	0	544	694	
2000	32	0	33	0	142	0	0	0	0	0	478	684	
2001	34	0	189	0	142	0	0	0	0	0	502	867	
2002	34	0	203	0	139	0	0	0	0	23	493	893	
2003	33	0	190	0	142	0	0	0	0	28	666	1059	
2004	22	0	181	0	143	0	0	0	0	40	543	928	
2005	24	0	193	0	141	0	0	0	0	49	402	809	
2006	25	0	194	1	148	0	0	9	1	60	488	926	
2007	29	0	194	2	143	0	0	58	2	45	501	974	

Tabel B22.8 netto geleverd elektrisch en thermisch vermogen o.b.v. energie

	E+W netto geleverd (energie) in GWh												totaal
	SITA	HVC	ARN	Twence	AVR	AVR	Essent	HVC	AZN	AEB	AVR		
	Roosendaal	Dordrecht	Weurt	Hengelo	Duiven	Rotterdam	Wijster	Alkmaar	Moerdijk	Amsterdam	Rozenburg		
1996	17	21	75		166	99	174	255		449	1117	2374	
1997	20	17	117	48	178	109	217	285	433	451	1171	3045	
1998	17	37	118	141	215	107	245	287	472	470	1030	3140	
1999	18	21	121	147	216	110	298	291	506	471	973	3172	
2000	24	42	147	141	242	110	299	303	517	482	902	3209	
2001	26	37	317	103	246	104	306	273	407	478	909	3207	
2002	26	35	341	145	241	112	295	274	465	503	925	3362	
2003	25	32	333	157	242	115	299	272	488	553	1092	3607	
2004	15	29	331	153	234	126	295	271	524	567	904	3449	
2005	17	35	352	163	236	118	285	415	521	595	814	3552	
2006	17	37	344	143	247	125	285	416	539	600	921	3675	
2007	21	36	326	164	254	124	290	465	521	575	956	3732	

Tabel B22.9 netto geleverd thermisch vermogen o.b.v. exergie

	W-netto geleverd (exergie) in GWh											totaal
	SITA	HVC	ARN	Twence	AVR	AVR	Essent	HVC	AZN	AEB	AVR	
	Roosendaal	Dordrecht	Weurt	Hengelo	Duiven	Rotterdam	Wijster	Alkmaar	Moerdijk	Amsterdam	Rozenburg	
1996	7	2	0		45	0	0	0		0	218	272
1997	8	2	0	0	39	0	0	0	0	0	219	268
1998	5	1	0	0	42	0	0	0	0	0	189	237
1999	6	0	0	0	45	0	0	0	0	0	148	200
2000	10	0	4	0	52	0	0	0	0	0	128	195
2001	11	0	26	0	52	0	0	0	0	0	135	223
2002	11	0	27	0	51	0	0	0	0	7	133	228
2003	10	0	26	0	52	0	0	0	0	8	178	273
2004	4	0	24	0	52	0	0	0	0	11	167	258
2005	4	0	26	0	51	0	0	0	0	14	137	233
2006	5	0	26	1	54	0	0	9	1	17	167	280
2007	5	0	26	2	52	0	0	58	2	13	169	327

Tabel B22.10 netto geleverd elektrisch en thermisch vermogen o.b.v. exergie

	E+W netto geleverd (exergie) in GWh											totaal
	SITA	HVC	ARN	Twence	AVR	AVR	Essent	HVC	AZN	AEB	AVR	
	Roosendaal	Dordrecht	Weurt	Hengelo	Duiven	Rotterdam	Wijster	Alkmaar	Moerdijk	Amsterdam	Rozenburg	
1996	1	21	75		88	99	174	255		449	533	1695
1997	0	14	117	48	110	109	217	285	433	451	584	2367
1998	-4	35	118	141	142	107	245	287	472	470	525	2539
1999	-1	20	121	147	137	110	298	291	506	471	578	2677
2000	2	42	119	141	151	110	299	303	517	482	553	2719
2001	3	37	153	103	156	104	306	273	407	478	543	2563
2002	3	35	165	145	152	112	295	274	465	487	565	2697
2003	2	32	169	157	152	115	299	272	488	532	604	2822
2004	-4	29	174	153	144	126	295	271	524	539	528	2779
2005	-3	35	185	163	146	118	285	415	521	560	550	2975
2006	-3	37	177	143	153	125	285	416	539	558	600	3029
2007	-8	36	132	162	111	124	290	407	519	543	455	2758

Tabel B22.11 netto elektrisch rendement

	netto elektrisch rendement (E)											
	SITA	HVC	ARN	Twence	AVR	AVR	Essent	HVC	AZN	AEB	AVR	totaal
	Roosendaal	Dordrecht	Weurt	Hengelo	Duiven	Rotterdam	Wijster	Alkmaar	Moerdijk	Amsterdam	Rozenburg	
1996	-6,8	4,8	10,7		6,3	10,0	15,5	18,5		21,8	13,0	14,4
<b>1997</b>	-7,3	3,6	11,4	10,6	11,1	11,1	18,3	21,2	28,6	21,9	14,0	17,2
1998	-7,2	5,8	12,4	16,3	12,6	11,1	16,6	21,2	30,4	22,1	13,3	17,3
1999	-4,8	4,0	12,4	17,4	11,5	11,3	18,8	21,4	31,2	22,6	14,9	18,0
2000	-5,5	6,5	12,4	17,2	12,6	11,0	18,4	22,0	30,9	22,3	15,0	18,1
2001	-5,6	5,9	13,5	12,7	11,9	10,9	18,6	20,3	29,7	22,0	15,2	17,3
2002	-5,7	5,6	13,2	17,9	11,5	11,4	18,7	20,1	28,4	21,1	15,3	17,4
2003	-5,2	5,3	14,9	18,4	11,3	11,6	18,9	20,3	29,6	24,6	14,6	18,1
2004	-5,2	4,8	15,7	16,5	10,4	12,5	18,6	21,3	30,2	23,6	12,9	17,8
2005	-5,0	5,5	16,9	17,6	10,5	12,0	18,8	22,5	30,1	23,4	13,7	18,3
2006	-5,4	6,2	16,4	15,8	10,6	12,6	18,7	21,9	29,3	22,7	14,0	18,1
2007	-4,9	5,9	15,2	17,8	11,4	12,3	17,6	20,5	28,2	22,4	14,7	17,8

Tabel B22.12 bruto thermisch rendement

	bruto thermisch rendement (E)											
	SITA	HVC	ARN	Twence	AVR	AVR	Essent	HVC	AZN	AEB	AVR	totaal
	Roosendaal	Dordrecht	Weurt	Hengelo	Duiven	Rotterdam	Wijster	Alkmaar	Moerdijk	Amsterdam	Rozenburg	
1996	25,5	0,4	0,0		17,5	0,0	0,0	0,0		0,0	33,1	9,6
<b>1997</b>	24,3	1,5	0,0	0,0	16,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,1	7,7
1998	21,0	0,3	0,0	0,0	14,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,5	6,3
1999	17,4	0,1	0,0	0,0	15,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,9	5,0
2000	23,3	0,0	3,5	0,0	18,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,9	4,9
2001	24,7	0,0	20,0	0,0	16,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,7	6,4
2002	23,3	0,0	19,6	0,0	15,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	17,4	6,3
2003	21,1	0,0	19,8	0,0	16,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	22,8	7,5
2004	15,0	0,0	18,9	0,0	16,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	19,4	6,6
2005	16,6	0,0	20,5	0,0	15,8	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	13,3	5,4
2006	17,0	0,0	21,1	0,1	15,7	0,0	0,0	0,5	0,1	2,5	15,8	6,1
2007	17,8	0,0	22,3	0,2	14,7	0,0	0,0	2,9	0,1	1,9	16,2	6,3

Tabel B22.13 netto WKK-rendement (o.b.v. energie)

	netto energetisch rendement (E+W)											totaal
	SITA	HVC	ARN	Twence	AVR	AVR	Essent	HVC	AZN	AEB	AVR	
	Roosendaal	Dordrecht	Weurt	Hengelo	Duiven	Rotterdam	Wijster	Alkmaar	Moerdijk	Amsterdam	Rozenburg	
1996	18,7	5,2	10,7		23,8	10,0	15,5	18,5		21,8	46,1	<b>24,1</b>
<b>1997</b>	17,1	5,1	11,4	10,6	27,9	11,1	18,3	21,2	28,6	21,9	45,1	<b>24,9</b>
1998	13,8	6,1	12,4	16,3	27,1	11,1	16,6	21,2	30,4	22,1	40,7	23,5
1999	12,5	4,1	12,4	17,4	27,1	11,3	18,8	21,4	31,2	22,6	33,7	23,0
2000	17,8	6,5	15,9	17,2	30,6	11,0	18,4	22,0	30,9	22,3	31,9	23,0
2001	19,1	5,9	33,5	12,7	28,0	10,9	18,6	20,3	29,7	22,0	33,9	23,6
2002	17,6	5,6	32,8	17,9	27,4	11,4	18,7	20,1	28,4	22,1	32,7	23,7
2003	15,9	5,3	34,8	18,4	27,4	11,6	18,9	20,3	29,6	25,9	37,4	25,6
2004	9,8	4,8	34,6	16,5	26,5	12,5	18,6	21,3	30,2	25,4	32,2	24,4
2005	11,6	5,5	37,4	17,6	26,3	12,0	18,8	22,5	30,1	25,5	26,9	<b>23,7</b>
2006	11,7	6,2	37,5	15,9	26,3	12,6	18,7	22,4	29,4	25,2	29,8	<b>24,2</b>
2007	12,9	5,9	37,5	18,0	26,1	12,3	17,6	23,4	28,3	24,3	30,9	<b>24,1</b>

Tabel B22.14 netto WKK-rendement (o.b.v. exergie)

	netto exergie rendement (a) (E+W)											totaal
	SITA	HVC	ARN	Twence	AVR	AVR	Essent	HVC	AZN	AEB	AVR	
	Roosendaal	Dordrecht	Weurt	Hengelo	Duiven	Rotterdam	Wijster	Alkmaar	Moerdijk	Amsterdam	Rozenburg	
1996	-1,2	5,2	10,7		13,6	10,0	15,5	18,5		21,8	22,0	<b>17,2</b>
<b>1997</b>	-1,8	4,1	11,4	10,6	18,1	11,1	18,3	21,2	28,6	21,9	22,5	<b>19,4</b>
1998	-2,5	5,9	12,4	16,3	18,7	11,1	16,6	21,2	30,4	22,1	20,7	<b>19,1</b>
1999	-1,0	4,0	12,4	17,4	18,1	11,3	18,8	21,4	31,2	22,6	20,0	<b>19,5</b>
2000	-0,4	6,5	12,7	17,2	20,1	11,0	18,4	22,0	30,9	22,3	19,6	<b>19,5</b>
2001	-0,1	5,9	15,1	12,7	18,7	10,9	18,6	20,3	29,7	22,0	20,3	<b>18,9</b>
2002	-0,5	5,6	14,8	17,9	18,2	11,4	18,7	20,1	28,4	21,3	20,0	<b>19,0</b>
2003	-0,5	5,3	16,5	18,4	18,0	11,6	18,9	20,3	29,6	24,9	20,7	<b>20,0</b>
2004	-1,9	4,8	17,2	16,5	17,1	12,5	18,6	21,3	30,2	24,1	18,8	<b>19,6</b>
2005	-1,3	5,5	18,6	17,6	17,1	12,0	18,8	22,5	30,1	23,9	18,2	<b>19,8</b>
2006	-1,6	6,2	18,1	15,8	17,2	12,6	18,7	22,0	29,3	23,3	19,4	<b>19,9</b>
2007	-0,9	5,9	0,0	17,8	17,6	12,3	17,6	21,1	28,2	22,9	20,1	<b>18,6</b>

Tabel B22.15 netto intrinsiek elektrisch rendement (o.b.v. energie)

	Netto energie rendement bij min levering W [CHPR=0]											totaal
	SITA	HVC	ARN	Twence	AVR	AVR	Essent	HVC	AZN	AEB	AVR	
	Roosendaal	Dordrecht	Weurt	Hengelo	Duiven	Rotterdam	Wijster	Alkmaar	Moerdijk	Amsterdam	Rozenburg	
1996	-6,8	6,9	10,7		6,3	10,0	15,5	15,2		21,8	17,0	15,1
<b>1997</b>	-7,3	6,5	11,4	10,6	11,1	11,1	18,3	17,4	28,6	21,9	17,8	17,6
1998	-7,2	6,9	12,4	16,3	12,6	11,1	16,6	17,1	30,4	22,1	16,6	17,5
1999	-4,8	6,5	12,4	17,4	11,5	11,3	18,8	17,4	31,2	22,6	17,2	18,2
2000	-5,5	7,1	12,4	17,2	12,6	11,0	18,4	18,1	30,9	22,3	17,0	18,1
2001	-5,6	6,8	13,5	12,7	11,9	10,9	18,6	16,3	29,7	22,0	17,5	17,3
2002	-5,7	6,5	13,2	17,9	11,5	11,4	18,7	16,0	28,4	21,1	17,4	17,5
2003	-5,2	6,2	14,9	18,4	12,3	11,6	18,9	16,1	29,6	24,6	17,3	18,4
2004	-5,2	5,8	15,7	16,5	11,3	12,5	18,6	16,4	30,2	23,6	15,8	18,0
2005	-5,0	6,4	16,9	17,6	10,9	12,0	18,8	18,2	30,1	23,4	16,0	18,3
2006	-5,4	6,8	16,4	15,8	10,7	12,6	18,7	17,3	29,3	22,7	16,8	18,1
2007	-4,9	6,6	15,2	17,8	11,4	12,3	17,6	16,2	28,2	22,4	17,4	17,8

Tabel B22.16 netto intrinsiek elektrisch rendement (o.b.v. energie)

	netto energie rendement bij max. levering W [CHPR=1]											totaal
	SITA	HVC	ARN	Twence	AVR	AVR	Essent	HVC	AZN	AEB	AVR	
	Roosendaal	Dordrecht	Weurt	Hengelo	Duiven	Rotterdam	Wijster	Alkmaar	Moerdijk	Amsterdam	Rozenburg	
1996	75	36	59		50	56	46	70		73	65	62,9
1997	73	38	56	57	72	60	70	79	76	73	66	68,7
1998	72	35	59	68	74	60	71	78	75	72	64	68,7
1999	74	35	62	72	75	62	67	76	77	74	66	70,7
2000	73	34	65	70	73	54	68	73	77	69	68	69,6
2001	73	35	63	74	73	53	68	73	74	70	67	68,8
2002	73	32	60	72	74	53	68	77	74	72	68	71,3
2003	73	32	67	72	73	53	69	75	74	79	68	72,4
2004	73	33	67	67	72	56	69	72	77	78	64	69,0
2005	74	33	68	68	71	56	68	73	78	76	67	67,5
2006	73	34	70	70	71	58	68	77	74	76	67	67,0
2007	73	37	71	70	71	55	63	91	78	77	70	69,7



Tabel B22.17 Combined heat en power ratio (CHPR) o.b.v. energie

	CHPR [-]											
	SITA	HVC	ARN	Twence	AVR	AVR	Essent	HVC	AZN	AEB	AVR	totaal
	Roosendaal	Dordrecht	Weurt	Hengelo	Duiven	Rotterdam	Wijster	Alkmaar	Moerdijk	Amsterdam	Rozenburg	
1996	0,23	0	0,00	0	0,32	0	0	0	0	0,00	0,43	0,15
1997	0,21	0	0,00	0	0,21	0	0	0	0	0,00	0,41	0,11
1998	0,17	0	0,00	0	0,18	0	0	0	0	0,00	0,37	0,09
1999	0,15	0	0,00	0	0,19	0	0	0	0	0,00	0,26	0,07
2000	0,22	0	0,05	0	0,23	0	0	0	0	0,00	0,23	0,07
2001	0,24	0	0,29	0	0,20	0	0	0	0	0,00	0,25	0,09
2002	0,22	0	0,30	0	0,20	0	0	0	0	0,01	0,23	0,09
2003	0,20	0	0,28	0	0,20	0	0	0	0	0,02	0,30	0,10
2004	0,12	0	0,27	0	0,21	0	0	0	0	0,02	0,26	0,10
2005	0,14	0	0,28	0	0,20	0	0	0	0	0,03	0,17	0,08
2006	0,14	1	0,29	1	0,20	0	0	0	0	0,03	0,21	0,09
2007	0,16	2	0,00	2	0,19	0	0	0	0	0,02	0,21	0,09