

Beter één AVI met een hoog
rendement dan één dichtbij

Hoeveel transport van afval is nuttig voor
een hoger energierendement?

Rapport
Delft, oktober 2010

Opgesteld door:
M.B.J. (Matthijs) Otten
G.C. (Geert) Bergsma



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

M.B.J. (Matthijs) Otten, G.C. (Geert) Bergsma

Beter één AVI met een hoog rendement dan één dichtbij

Hoeveel transport van afval is nuttig voor een hoger energierendement?

Delft, CE Delft, oktober 2010

Afval / Transport / Verbrandingsinstallaties / Energie / Rendement / Kooldioxide / Emissies /

Publicatienummer: 10.8176.73

Oprachtgever: SITA Nederland

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl.

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Matthijs Otten.

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft
Committed to the Environment

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



Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
2	Analyse CO₂-emissies AVI en transport	9
2.1	Elektriciteit en warmte	9
2.2	CO ₂ -emissies afvaltransport	10
2.3	Gevoeligheid CO ₂ -emissies van metaalterugwinning en nascheiding	10
3	AVI-rendement versus Transport	13
3.1	Resultaten	13
3.2	Voorbeeld situaties	14
4	Conclusie en discussie	17
	Referenties	19
Bijlage A	Achtergronddata CO₂-emissies AVI's	21
Bijlage B	Emissies afvaltransport	25
Bijlage C	Afstandstabel	27





Samenvatting

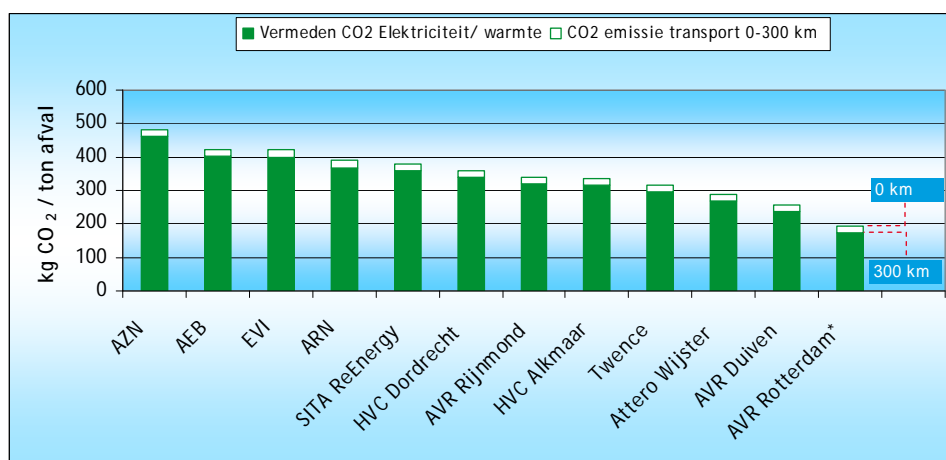
Gemeenten staan regelmatig voor de vraag hoe zij het afval van hun burgers tegen redelijke kosten zo milieuvriendelijk mogelijk kunnen laten verwerken. Daarvoor scheiden ze steeds meer afvalstromen voor recycling. Er blijft echter ook altijd restafval over dat naar een afvalverbrandingsinstallatie (AVI) moet waar er met het afval elektriciteit en warmte wordt geproduceerd.

Gemeenten willen dat er met hun restafval zoveel mogelijk elektriciteit en warmte wordt geproduceerd. Op die manier wordt het afval maximaal nuttig gebruikt en is de milieubelasting het laagst. AVI's met een hoog energierendement zijn echter niet altijd beschikbaar in de directe omgeving. Dan staat de gemeente voor het dilemma of het voor het milieu beter is om te kiezen voor de AVI met een laag energierendement dichtbij of die met een hoog energierendement verder weg.

Afvalverbranders verschillen fors in milieuprestatie

Van alle actieve AVI's in Nederland is allereerst informatie over het energierendement verzameld en zijn de vermeden CO₂-emissies per gemiddelde ton afval berekend. Uit deze berekening blijkt dat de AVI's in Nederland flink verschillen. De beste AVI bespaart ongeveer 480 kilo CO₂-emissie per ton afval en de slechtste ongeveer 200. In Figuur 1 zijn de CO₂-prestaties van de AVI's opgenomen.

Figuur 1 Verschillen in CO₂-prestaties van AVI's op basis van elektriciteit en warmte afzet



* AVR Rotterdam is in 2010 gesloten.

Vervolgens is gekeken hoe de emissies van transport van afval per vrachtwagen, trein of schip zich verhouden tot de emissieverschillen van de AVI's. De vraag is immers of de CO₂-voordelen die te behalen zijn door een betere AVI te kiezen niet ongedaan worden gemaakt door CO₂-emissie van extra transport.

Met de witte balken in Figuur 1 is aangegeven hoeveel CO₂-voordeel er verloren gaat als er 300 kilometer (grote afstand in Nederland) met het afval gereden wordt met een vrachtauto (verlies van ongeveer 20 kg CO₂/ton afval). Behalve bij AVI's die vlak bij elkaar liggen qua score is het CO₂-effect van



extra transport vrijwel altijd kleiner dan het voordeel dat gehaald kan worden met een hoger energierendement.

Verbetermogelijkheden AVI's

AVI's met een lagere CO₂-score kunnen met name beter scoren door hun elektrisch rendement te verbeteren. In een aantal gevallen is er ook winst te boeken met meer warmteafzet maar is dit afhankelijk van lokale omstandigheden en de aanwezigheid van afnemers van warmte.

Metaalterugwinning bij de AVI's heeft ook invloed op de vermeden CO₂-emissies van een AVI. Verwacht wordt dat na 2010 de verschillen tussen AVI's dermate klein zijn dat het bijna geen invloed heeft op de onderlinge verschillen (maximaal 10 kg CO₂/ton afval). Er wordt hierbij vanuit gegaan AVI's die in 2008 nog een relatief lage terugwinning van aluminium hadden, deze gaan verhogen (hebben verhoogd) naar 70-80%.

Data en onzekerheid

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van openbare bronnen uit de afvalwereld (tot 2008) en emissiedata van transport (CE, 2008) toegepast op de logistieke parameters in de afvalbranche. Niet alle benodigde gegevens voor de energieberekeningen van AVI's worden openbaar gemaakt. Met behulp van een recent verschenen nota met de resultaten over de R1-status aanvragen van AVI's (Lap2, 2009), zijn ontbrekende kentallen echter zo goed mogelijk ingeschat. Tussen AVI's die in de analyse vergelijkbaar scoren (± 20 kg CO₂/ton afval) kan op basis van de beschikbare data daarom geen goed verschil worden gemaakt. De onzekerheid in de achterliggende data is hiervoor te groot (zie Bijlage A). In dat geval kunnen andere factoren als bijvoorbeeld kosten de doorslag geven voor een bepaalde AVI.

Voor de twee AVI's waar nascheiding van het afval plaatsvindt, kan het in een vergelijking van belang zijn een preciezere analyse te maken van de stromen die buiten de AVI om worden verwerkt.

Hoofdconclusie

Hoofdconclusie uit deze analyses is dat, nu er nog een groot verschil is tussen milieuprestaties van AVI's in Nederland, een keuze voor een AVI met een hoog energierendement over het algemeen veel belangrijker is dan een keuze voor een AVI dichtbij.

Bij kleine verschillen kan met behulp van dit rapport een preciezere analyse gemaakt worden.



1 Inleiding

In Nederland zijn op dit moment tien afvalverbrandingsinstallaties actief die restafval van huishoudens en bedrijven verbranden. In 2009 waren er nog elf centrales actief, maar sinds januari 2010 is de afvalverbrandingsinstallatie in Rotterdam (AVR Rotterdam) gesloten. Daarnaast wordt sinds 2009 ook Nederlands afval net over de grens bij Coevorden verbrand bij de afvalverbrandingsinstallatie EVI in Laar.

Met de verbranding van afval wekken de AVI's stroom op die aan het elektriciteitsnet wordt geleverd en/of leveren ze warmte aan bijvoorbeeld stadsverwarming en industrieën. De nuttige toepassing van energie die vrijkomt bij het verbranden van afval zorgt ervoor dat er minder elektriciteit hoeft te worden opgewekt met behulp van steenkool en aardgas en dat er minder aardgas hoeft te worden verstoofd om bijvoorbeeld huizen te verwarmen. Door de energie uit afval nuttig te gebruiken zorgen AVI's er dus voor dat er elders minder CO₂ wordt uitgestoten.

De hoeveelheid CO₂-uitstoot die met de verbranding van afval in een AVI wordt vermeden varieert van AVI tot AVI en hangt af van het rendement waarmee een AVI elektriciteit opwekt en de hoeveelheid warmte die het kan afzetten. Nieuwere AVI's kunnen vaker met een hoger rendement elektriciteit opwekken dan dat oudere AVI's dat kunnen.

Veel gemeenten en bedrijven hebben behalve voor de kosten van afvalverwerking ook steeds meer oog voor de milieuaspecten en vooral de klimaat-effecten ervan. Een belangrijk aandachtspunt lijkt daarbij in eerste instantie het minimaliseren van het transport van het afval. Afvaltransport met de trein en soms met het binnenvaartschip scoort dan beter en een AVI die dichtbij is verdient de voorkeur boven een AVI die verder weg ligt. Aan de andere kant wordt ook gekeken met welke efficiëntie de verbrandingsenergie nuttig wordt toegepast. Er is immers een groot verschil in energierendement tussen de AVI's in Nederland.

Regelmatig botst het streven naar een AVI dichtbij met het streven naar een hoog energierendement. Vaak ligt een AVI met een echt hoger energierendement iets verder weg dan andere AVI's. In dit rapport wordt dit dilemma onderzocht. Concreet gaat om de vraag hoeveel transport er nuttig is om een hoger AVI-rendement voor het afval van een bepaalde gemeente te bereiken. De klimaateffecten van transport zijn daartoe afgezet tegen de klimaat-effecten van elektriciteitsopwekking, warmteafzet en metaaltherugwinning van verschillende AVI's. Het rapport geeft daarmee inzicht in de vraag welke AVI de gemeente moet kiezen als het gaat om klimaat: *De AVI dichtbij of de AVI met een hoog rendement?*





2 Analyse CO₂-emissies AVI en transport

2.1 Elektriciteit en warmte

In Tabel 1 is een overzicht gegeven van de energieleveringsprestatie van de Nederlandse AVI's en de vermeden CO₂-uitstoot die daaraan gekoppeld is. De basisgegevens voor de AVI's zijn gebaseerd op het jaar 2008 (WAR, 2009), waarbij voor een aantal AVI's, die in aanbouw zijn of die worden (of zijn) gemoderniseerd, de gegevens zijn aangepast naar de toekomstige (of huidige) situatie (zie Bijlage A)¹.

Tabel 1 Rendement elektriciteitsopwekking en warmtelevering en vermeden CO₂-uitstoot AVI's

	Rendement (als percentage van energiewaarde verbrand afval)		Vermeden CO ₂ -uitstoot
	Elektrisch (netto geleverd)	Warmtelevering	Totaal elektrisch + warmte
AZN	25%	13%	482
AEB	26%	2%	423
EVI	27%	0%	422
ARN	16%	21%	389
SITA ReEnergy	22%	5%	379
HVC Dordrecht	21%	4%	361
AVR Rijnmond	15%	17%	339
HVC Alkmaar	21%	1%	336
Twence	15%	12%	316
Attero Wijster (voorheen Essent)	18%	0%	289
AVR Duiven	10%	15%	258
AVR Rotterdam*	12%	0%	194

In kolom 1 en 2 van Tabel 1 is weergegeven met welk rendement elektriciteit en warmte wordt geleverd door de AVI's. Voor HVC Dordrecht, bijvoorbeeld, betekent dit dat wanneer er afval wordt verbrand met een energie-inhoud van 100 megajoule er 21 megajoule (6 kWh) elektriciteit wordt opgewekt en 4 megajoule aan warmte wordt afgezet.

De hoeveelheid elektriciteit en warmte is omgezet in een hoeveelheid vermeden CO₂, ervan uitgaande dat bij de opwekking van 1 megawattuur elektriciteit op de conventionele manier 572 kilo CO₂ vrijkomt en bij de opwekking van 1 gigajoule warmte 63 kilo CO₂ vrijkomt (kolom 3). Om de AVI's onderling te kunnen vergelijken is deze berekening gebaseerd op 1 ton afval

¹ Er is bij de gegevens rekening gehouden met het eigen energieverbruik van AVI's. De cijfers over het eigen verbruik zijn echter niet openbaar en zijn daarom ingeschat met behulp van de uitkomsten van berekeningen voor de toekenning van de R1-status waaraan deze cijfers ten grondslag liggen (zie Bijlage A).



met een gemiddelde verbrandingswaarde van 9,9 megajoule per kilo (de gemiddelde verbrandingswaarde van huisvuil)².

2.2 CO₂-emissies afvaltransport

In Tabel 2 zijn in de tweede kolom de emissiefactoren van verschillende vervoerswijzen weergegeven op grond van gemiddelde verbruikscijfers en beladingsgraden vanuit de afvalbranche, aangevuld met logistieke parameters en verbruikscijfers uit de recent geüpdate transport database STREAM (CE, 2008; zie Bijlage B). Transport per vrachtauto en per binnenvaart scoren gemiddeld genomen ongeveer even goed. Afvaltransport per trein scoort duidelijk beter³.

In Nederland zullen transportafstanden in ieder geval nooit veel groter zijn dan 300 km (is ongeveer de afstand tussen Maastricht en Coevorden). In de tweede kolom is weergegeven wat de CO₂-emissies van transport zijn in het geval afval over deze maximale afstand vervoerd wordt. Dit betekent dus dat per ton getransporteerd afval over de weg naar een AVI die op 300 km afstand ligt er 20,9 kilo CO₂ wordt uitgestoten. Transport naar een AVI op 200 km afstand veroorzaakt 14 kilo CO₂-uitstoot (200×0,070). Deze cijfers houden ook rekening met de emissies van het transport op de terugweg dat vaak zonder lading plaatsvindt.

Tabel 2 Emissiefactoren (Well-to-Wheel, WTW) en karakteristieken voor afvaltransport

Vervoerswijze	CO ₂ -emissiefactor (kg CO ₂ /tonkm)	CO ₂ -uitstoot bij transport over een afstand van 300 km (kg CO ₂ /ton)
Vrachtauto (lading 24 ton)	0,070	20,9
Eurocombi (lading 32 ton)	0,063	18,8
Trein elektrisch	0,020	6,0
Trein diesel	0,028	8,3
Binnenvaart (36 TEU)	0,067	20,1

2.3 Gevoeligheid CO₂-emissies van metaalterugwinning en nascheiding

Metaalterugwinning

Naast de geleverde energie en warmte speelt ook de terugwinning van metalen een rol in de vermeden CO₂-emissies. Belangrijke metalen in het afval zijn staal (ca. 3,3% van het gewicht (Agentschap NL, 2009)) en aluminium (ca. 0,9% van het gewicht). Hoe meer metaal wordt teruggewonnen en aan de metaal-industrie wordt geleverd voor recycling, hoe minder nieuw metaal hoeft te worden geproduceerd. Per kilo staal die wordt teruggewonnen wordt er 3,1 kilo CO₂-uitstoot vermeden bij de productie van staal (CE, 2007). Voor aluminium is dit zelfs 10,6 ton CO₂ per ton staal (CE, 2007).

² CO₂-waarden voor andere verbrandingswaarden (X) kunnen worden verkregen door vermenigvuldiging van de waarden in kolom 3 met X/9,9.

³ Om specifieke gevallen te vergelijken is het van belang de transportafstanden en de benuttingsgraad van het voertuig te kennen.



De efficiëntie waarmee AVI's metaal terugwinnen is afhankelijk van de gebruikte installaties. De techniek waarmee staal wordt teruggewonnen is voor de meeste AVI's gelijk. Voor de terugwinning van staal gaan we er van uit dat dit bij alle AVI's met een rendement van ongeveer 82% (CE, 2007) gebeurt. Alleen bij ARN en Attero Wijster (voorheen Essent Wijster), waar nascheiding plaatsvindt, kan mogelijk worden uitgegaan van een hoger terugwinningspercentage van 95% (SKB, 2007). In dat geval wordt in deze twee centrales door staalterugwinning 12 kilo CO₂ per ton afval⁴ extra vermeden.

Voor aluminiumterugwinning is recentelijk een inschatting gemaakt door FFACT op basis van een studie van TNO en branchegegevens (FFACT, 2009). De studie geeft een inschatting voor 2008 op basis van de in 2008 aanwezige installaties en geeft inschattingen voor latere jaren op basis van voorgenomen aanpassingen. In Tabel 1 zijn de terugwinningspercentages (uit FFACT, 2009) weergegeven met bijbehorende CO₂ uitgaande van 0,9% aluminium in het afval. Wanneer alle aanpassingen van de installaties worden doorgevoerd (na 2010) zullen de verschillen in vermeden emissies door aluminiumterugwinning niet groter zijn dan 10 kilo per ton afval. Wanneer de verschillen in 2008 echter zijn blijven bestaan kunnen de vermeden CO₂-emissies door aluminiumterugwinning wel oplopen tot 42 kilo per ton afval. De vermeden CO₂-emissies door metaalterugwinning zullen in 2010 naar verwachting met niet meer dan 10 kilo en hooguit 20 kilo per ton afval variëren. Wanneer een gemeente een keuze wil maken tussen twee AVI's op basis van CO₂-prestatie, is het echter goed om naast het energetisch rendement ook te controleren of de aluminiumterugwinning inderdaad rond de 70-80% ligt.

Tabel 3 Terugwinningspercentages van aluminium op basis van (FFACT, 2009) en bijbehorende CO₂-emissiereducties

	Terugwinning Aluminium 2008		Terugwinning Aluminium 2010 (inschatting)		Terugwinning Aluminium na 2010 (inschatting)	
	Terugwinningspercentage	Vermeden CO ₂ (kg/ton afval)	Terugwinningspercentage	Vermeden CO ₂ (kg/ton afval)	Terugwinningspercentage	Vermeden CO ₂ (kg/ton afval)
AZN	40%	37	60%	56	75%	70
AEB	45%	42	45%	42	75%	70
HVC	75%	70	80%	75	80%	75
Dordrecht						
AVR Rijnmond	30%	28	45%	42	70%	65
HVC Alkmaar	75%	70	80%	75	80%	75
Twence	75%	70	80%	75	80%	75
AVR Duiven	45%	42	80%	75	80%	75

Nascheiding

Het afval dat bij ARN en Attero Wijster wordt aangeleverd, wordt (gedeeltelijk) nagescheiden. Bij de nascheiding wordt het afval in verschillende fracties gescheiden waaronder naast metalen ook RDF⁵ (hoog calorisch afval) en ONF (organisch natte fractie). Gedeelten van dit afval zullen niet in

⁴ 1 ton × 3,3% staal × (95%-82%) × 3.100 kg CO₂/ton staal.

⁵ Refuse derived fuel.



eigen beheer worden verbrand. RDF wordt gedeeltelijk met hoog rendement in cementovens bijgestookt en zal daarmee meer CO₂-uitstoot vermijden dan in de AVI. Daar staat echter tegenover dat ONF-fracties soms nog gestort worden en nauwelijks CO₂-uitstoot vermijden. Het effect van de verwerking van afvalfracties die niet in de centrale zelf wordt verstoekt zijn in deze analyse niet meegenomen. Voor ARN lijken echter dat de hoeveelheden RDF en ONF die buiten de AVI om worden verwerkt beperkt te zijn (ARN, Milieujaarverslag 2008: Overheidsverslag). Voor Attero Wijster is het minder duidelijk hoeveel RDF en ONF er buiten de AVI om worden verwerkt en in hoeverre dit de vermeden CO₂-emissies beïnvloedt. Indien een gemeente twijfelt over deze AVI's is een precieze analyse aanbevolen.

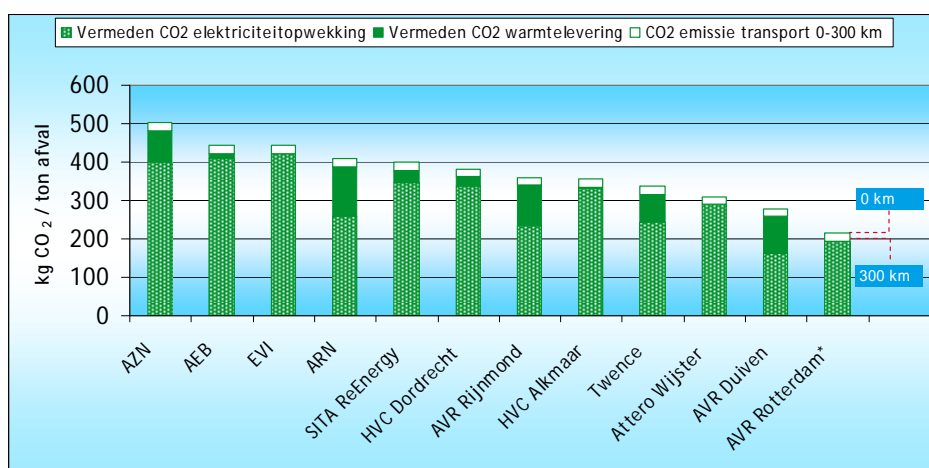


3 AVI-rendement versus Transport

3.1 Resultaten

In Figuur 2 is weergegeven hoe de vermeden CO₂-emissies door elektriciteit en warmteafzet van Nederlandse AVI's zich verhouden tot een extra transportafstand van 300 km met een vrachtauto (ongeveer 20 kg CO₂ per ton afvalverlies). Figuur 2 maakt duidelijk dat het verschil in de prestaties tussen de AVI's veel meer invloed heeft op de totale CO₂-emissies dan dat het afvaltransport met een vrachtauto dit heeft. Alleen wanneer AVI's een vergelijkbare prestatie leveren kan de transportafstand het klimaatplaatje doen omslaan.

Figuur 2 Vermeden CO₂-emissies van de Nederlandse AVI's bij afval met een stookwaarde van 9,9 MJ/kg; de variatie in vermeden CO₂-emissies met 300 km meer transport met een vrachtauto zijn ook weergegeven



* AVR Rotterdam is in 2010 gesloten.

Figuur 2 laat zien dat als er getwijfeld wordt tussen AVI's die qua CO₂-score iets verder uit elkaar liggen (bijvoorbeeld 1 uit de kopgroep AZN, AEB en EVI vergeleken met AVR Duiven of AVR Rijnmond) dan de CO₂-verschillen door transport vrijwel niet mee hoeven te spelen in de afweging. Bij kleine verschillen tussen de AVI's moet preciezer gekeken worden en kan gezien de onzekerheid in de analyse vaak de conclusie volgen dat de milieuvverschillen klein zijn en dat de prijs de doorslag kan geven.

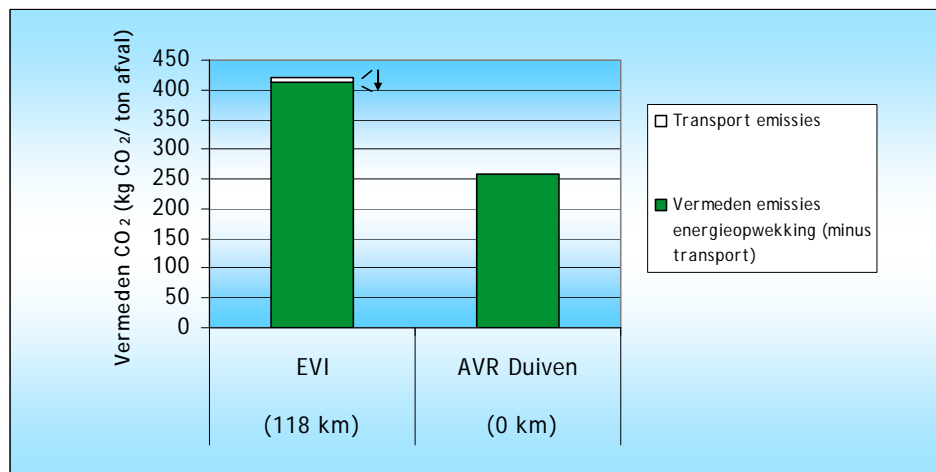
In Bijlage C is een afstandentabel opgenomen die aangeeft hoeveel extra kilometers kunnen worden gereden voordat een AVI met een beter rendement gelijk presteert aan een AVI met een minder goed rendement qua vermeden CO₂-emissies.



3.2 Voorbeeld situaties

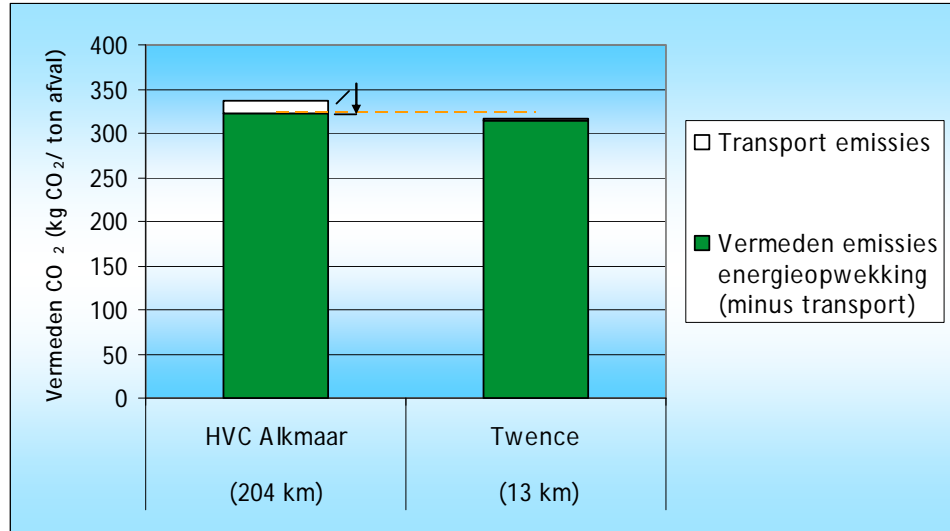
De Milieusamenwerking Regio Arnhem (MRA) heeft recent ervoor gekozen het afval te laten verbranden in EVI Coevorden in plaats van in AVR Duiven. Het vervoer per vrachtauto naar Coevorden is 118 km, transport naar Duiven is gelijk gesteld aan 0 km. Met de afvalverwerking in Duiven wordt 258 kilo CO₂ per ton vermeden, met die in Coevorden 422 kilo CO₂. De afvalverwerking in Coevorden wordt dus meer CO₂-uitstoot vermeden. Het transport naar Coevorden veroorzaakt slecht 8 kilo CO₂-emissies en heeft daarmee nauwelijks invloed op de vergelijking zoals ook schematisch is weergegeven Figuur 3.

Figuur 3 Vergelijking CO₂-emissies: Transport en verbranding van afval uit Arnhem bij EVI Coevorden en AVR Duiven. Conclusie: ook met 118 km meer transport scoort de EVI beter



Wanneer we nu als case nemen dat de gemeente Enschede twijfelt tussen afvalverbranding bij Twence of bij HVC Alkmaar, dan is de situatie minder duidelijk. Afvalverbranding bij Twence in Hengelo vermijdt 316 kilo CO₂ per ton afval, die in Alkmaar 336 kilo CO₂ per ton afval. Naar Hengelo is de transportafstand slechts 13 km en is de CO₂-uitstoot van transport slechts 1 kilo per ton afval. Naar HVC Alkmaar is de afstand 204 km, en zijn de CO₂-emissies van transport 14 kg CO₂ per ton afval. De resulterende vermeden emissies zijn 322 kilo CO₂ per ton afval voor HVC Alkmaar en 315 voor Twence. Dit berekende verschil is zo klein (zie Figuur 4) dat de onzekerheid in de gegeven rendementen maakt dat het niet mogelijk is om hieruit op basis van klimaat een keuze tussen de twee te maken.

Figuur 4 Vergelijking CO₂ emissies Transport en verbranding van afval uit Enschede bij Twence (Hengelo) en HVC Alkmaar. Conclusie: na aftrek van transport scoren de AVI's vergelijkbaar



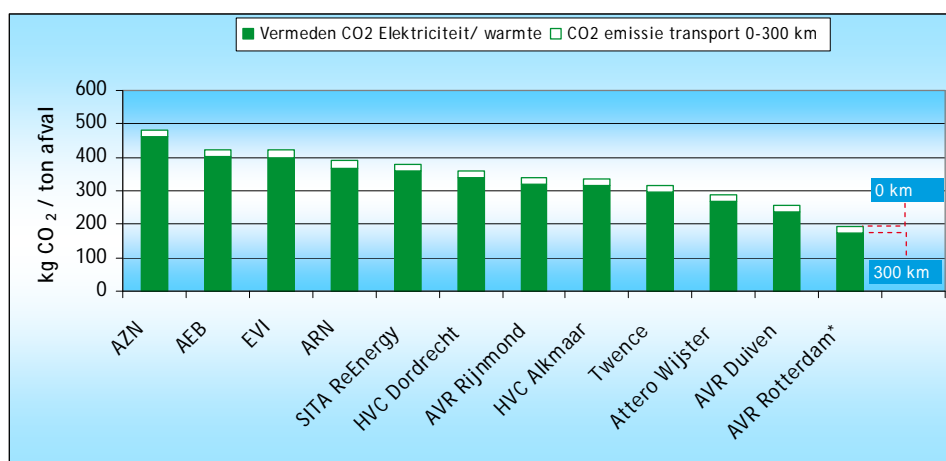


4 Conclusie en discussie

In dit rapport is ingegaan op de vraag wat beter is voor het klimaat: afval verbranden met een hoog rendement energieopwekking of afval verbranden zo dichtbij mogelijk. Om dit te beoordelen is van de Nederlandse AVI's in kaart gebracht hoeveel CO₂-uitstoot ze vermijden door energieopwekking. Daarnaast is uitgezocht wat de CO₂-kentallen van afvaltransport zijn.

Het verschil in vermeden CO₂-uitstoot tussen de best en minst presenterende AVI's ligt in de ordegrootte van 100 tot 150 kilo CO₂ per ton huisafval (maximaal 225 kg/ton afval tussen AZN en AVR Duiven) (Figuur 5). Transport met de vrachtauto veroorzaakt maximaal een verschil van 21 ton CO₂ per ton afval bij een verschil in transportafstand van 300 km (zie witte balk Figuur 5). In de meeste gevallen zal het verschil in transportemissies echter niet groter zijn dan 10 kilo CO₂ per ton afval.

Figuur 5 Verschillen in CO₂-prestaties van AVI's op basis van elektriciteit en warmte afzet



* AVR Rotterdam is in 2010 gesloten.

Geconcludeerd kan worden dat in de meeste gevallen de CO₂-score van energieopwekking uit afval een veel groter aandeel heeft in de totale CO₂-score dan dat transport dit heeft. Alleen in gevallen waarbij de AVI's vrijwel gelijk scoren qua CO₂ van afvalverwerking kan transport in de klimaat-afweging een doorslaggevende rol spelen.

Verbetermogelijkheden AVI's

AVI's met een lagere CO₂-score kunnen met name beter scoren door hun elektrisch rendement te verbeteren. In een aantal gevallen is er ook winst te boeken met meer warmteafzet maar dit is afhankelijk van lokale omstandigheden en de aanwezigheid van afnemers van warmte.

Metaal terugwinning bij de AVI's heeft ook invloed op de vermeden CO₂-emissies van een AVI. Verwacht wordt dat na 2010 de verschillen tussen AVI's dermate klein zijn dat het bijna geen invloed heeft op de onderlinge verschillen (maximaal 10 kg CO₂/ton afval). Er wordt hierbij vanuit gegaan AVI's, die in 2008 nog een relatief lage terugwinning van aluminium hadden, deze hebben verhoogd naar 70-80%.



Data

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van openbare bronnen uit de afvalwereld (tot 2008) en emissiedata van transport (CE, 2008) toegepast op de logistieke parameters in de afvalbranche. Niet alle benodigde gegevens voor de energieberekeningen van AVI's worden openbaar gemaakt. Met behulp van een recent verschenen nota met de resultaten over de R1-status aanvragen van AVI's (Lap2, 2009), zijn ontbrekende kentallen echter zo goed mogelijk ingeschat. Tussen AVI's die in de analyse vergelijkbaar scoren (± 20 kg CO₂/ton afval) kan op basis van de beschikbare data echter geen goed verschil worden gemaakt. De onzekerheid in de achterliggende data is hiervoor te groot (zie Bijlage A).

Voor de twee AVI's waar nascheiding van het afval plaatsvindt, kan het in een vergelijking van belang zijn om een preciezere analyse te maken van de stromen die buiten de AVI om worden verwerkt.

Hoofdconclusie

Hoofdconclusie uit deze analyses is dat, nu er nog een groot verschil is tussen milieuprestaties van AVI's in Nederland, een keuze voor een AVI met een hoog energierendement over het algemeen belangrijker is dan een keuze voor een AVI dichtbij.

Bij kleine verschillen kan met behulp van dit rapport een preciezere analyse gemaakt worden.



Referenties

Agentschap NL, 2010

Samenstelling van het huishoudelijk restafval, resultaten sorteeranalyses 2009
Utrecht : Agentschap NL, Uitvoering Afvalbeheer, 2010

CE, 2007

M.N. (Maartje) Sevenster, L.M.L. (Lonneke) Wielders, G.C. (Geert) Bergsma,
J.T.W. (Jan) Vroonhof
Milieukentallen van verpakkingen voor de verpakkingenbelasting in Nederland
Delft : CE Delft, 2007

CE, 2008

L.C. den Boer, F.P.E. Brouwer, H.P. van Essen
STREAM versie 2.0 : Studie naar de emissies van alle modaliteiten, die CE Delft
uitvoerde in opdracht van het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke
Ordening en Milieu (VROM) en het kennisinstituut voor mobiliteitsbeleid van
het ministerie van Verkeer en Waterstaat (KIM)
Delft : CE Delft, 2008

FFACT, 2007

Recycling van aluminium verpakkingen in Nederland : Analyse van de actuele
recycling van aluminium verpakkingen ten behoeve van de bepaling van de
milieubelasting van aluminium verpakkingen in Nederland
Delft : FFact Management Consultants, 2009

Lap2, 2009

O. van Hunnik (SenterNovem)
Memo: Advies aanvragen R1-status AVI-installaties
www.lap2.nl

SKB, 2007

Frank Hopstaken en Fred Soomers (FFACT)
Blik: scheiden of terugwinnen? : Integrale ketenbenadering geeft inzicht in de
werkelijke kosten van de blikkringloop
Zoetermeer : Stichting Kringloop Blik (SKB), 2007

Vereniging Afvalbedrijven, 2007

Energie uit afval 2007 : Kansen voor een duurzame toekomst
's Hertogenbosch : Vereniging Afvalbedrijven, 2007

Vereniging Afvalbedrijven, 2009

Liane Schoonus
Notitie aan Afdeling Energie uit Afval (AEA)
's Hertogenbosch : Vereniging Afvalbedrijven, Werkgroep energie, 2009

WAR, 2009

Werkgroep Afvalregistratie
Afvalverwerking in Nederland, gegevens 2007
Utrecht : SenterNovem/Vereniging afvalbedrijven, 2008





Bijlage A Achtergronddata CO₂-emissies AVI's



Tabel 4 Achtergrondwaarden AVI's voor CO₂-berekeningen

Kolomnummer	1		2		3	4		5		6		7		8		9
	Verbrand (in kton)	referenties	Gemiddelde stookwaarde (LHV) GJ/ton	referenties	Energetische input afval (TJ)	Energetische Input Brandstoffen (m.n. aardgas)	referenties	Opgewekte elektriciteit (GWh/ jaar)	referenties	Eigen- verbruik elektrisch (TJ)	referenties	Door- geleverde warmte (TJ)	referenties	R1 waarde op basis van huidige cijfers	R1 waarde lap2	
Essent Wijster 2008 (nu Attero)	625	1	9,6	9	6.002	20	10	371	1	229	16	0	0	0,490	0,490	
Twence 2008 lijn 1+2	282	1	10,8	9	3.032	106	10	191	1	175	17	0	0	0,410	0,410	
Twence lijn 3 (vanaf eind 2009)	220	2	10,8	9	2.367	63	10	135	2	137	18	648	2	0,670	0,670	
Twence (geupdate)	502	1;2	10,8	9	5.399	169	10	326	1;2	311	0	648	0	0,524		
ARN 2008	273	1	12,2	9	3.329	38	10	193	1	142	19	705	1	0,670	0,670	
AVR Duiven 2008	354	1	9,5	9	3.372	267	10	149	1	162	9	563	1	0,390	0,390	
AEB 2008	1309	1	10,1	9	13.208	0	0	674	1	405	9	214	1	0,429		
AEB AEC 2008	873	3	10,1	9	8.814	628	10	690	1;3	182	3;9	201	3	0,630	0,630	
AEB HR operationeel	530	3	10,1	9	5.337	170	10	476	14	111	20	100	25	0,780	0,780	
AEB (geupdate)	1403	1;3	10,1	9	14.152	799	10	1.166	1;3	293	0	301	0	0,686		
HVC Alkmaar 2008	662	1	10,1	9	6.682	205	10	483	1	286	9	43	1	0,550	0,550	
AVR Rijnmond 2008	1140	4	9,4	9	10.716	5	10	558	4	409	9	1800	4	0,590	0,590	
AVR Rotterdam 2008	384	1	9,4	9	3.630	2	11	182	1	208	9	0	1	0,330		
HVC Dordrecht 2008	196	1	10,1	9	1.977	7	10	73	1	105	9	0	1	0,210	0,210	
HVC Dordrecht (geupdate)	365	5	10,1	9	3.687	42	10	265	5	158	21	150	26	0,610	0,610	
AZN 2008 (elektriciteit)*	709	1	10,1	9	7.159	0	0	624	1	274	9	0	1	0,738		
AZN 2008 (warmte)**	709	1	10,1	9	7.159	501	10	0	1	274	9	6984	1	0,900	0,900	
AZN 2008 lijn 1-3 elektriciteit*	678	6	10,1	9	6.846	479	12	597	12	262	9	0	1	0,644		
AZN 2008 lijn 1-3 warmte**	678	6	10,1	9	6.846	479	12	0	1	262	9	6679	12	0,900	0,900	
AZN lijn 4 operationeel	275	6	10,1	9	2.778	194	12	231	15	106	22	1.373	10	1,150	1,150	
AZN (geupdate)***	953	1;6	10,1	9	9.623	673	12	828	0	369	0	1.373	0	0,790		
SITA ReEnergy 2008	57	1	9,7	9	557	19	13	0	1	28	9	108	1	0,049		
Bavaro (SITA ReEnergy) (in aanbouw)	291	7	11,7	9	3.405	96	10	254	7	142	23	179,1	7	0,630	0,630	
EVI Coevorden	251	8	11,3	8	2.833	0	8	244	8	120	8	0	8	0,718		

* Berekening op basis van de opgewekte elektriciteit in de naastgelegen warmtekrachtcentrale met behulp van de afgezette stoom.

** Berekening op basis van warmteafzet aan de naastgelegen warmtekrachtcentrale.

*** Berekening op basis van de opgewekte elektriciteit in de naastgelegen warmtekrachtcentrale met behulp van de stoom uit lijn 1-3.

Voor een aantal AVI's zijn deze gegevens gebaseerd op het jaar 2008 (zie referenties), voor een aantal andere AVI's die in aanbouw zijn of die worden (of zijn) gemoderniseerd zijn de gegevens aangepast naar de nieuwe (toekomstige) situatie (geüpdate).

De lichtblauw gearceerde velden zijn gebruikt in het hoofdrapport. De andere zijn gebruikt voor de berekeningen, met name om te kunnenijken op de bekende R1-waarden.

In Tabel 5 staan de referenties voor de waarden.

Tabel 5 Referenties bij Tabel 4

Referenties bij tabel	
1	Afvalverwerking in Nederland; gegevens 2008; Werkgroep Afvalregistratie; november 2009
2	Info Twence: http://www.twence.nl/actueel/archief/1ste_paal.doc/
3	Op basis jaarverslag AEB 2008: http://www.depot.afvalenergiebedrijf.nl/main.asp?wpl_id=55245
4	Het verslag en de resultaten van de Van Gansewinkel Groep, jaarbeeld 2008
5	Info HVC: HVC Jaarverslag 2006 en http://www.hvcgroep.nl/over_hvc/kengetallen
6	Energiek met afval; Essent Milieu Jaarmagazine 2008
7	Opgave SITA
8	Info over april t/m december 2009 SITA
9	Op basis van eigen verbruik elektriciteit per ton afval uit gegevens afvalverwerking 2007 SenterNovem
10	Gemodelleerd op basis van www.lap2.nl ; Memo Advies aanvragen R1status AVI-installaties
11	Gelijk aan energie input AVR Rijnmond per ton afval
12	Per ton afval gelijk aan AZN 2008
13	Gelijk aan verbruik BAVIRO per ton afval
14	AEB: Brochure méér waarde uit afval:
15	30% rendement op basis van: Essent Milieu Jaarmagazine 2008
16	Gebaseerd op eigenverbruik 2007 volgens gegevens SenterNovem
17	Via Twence; Milieujaarverslag 2008
18	Gelijk aan eigen verbruik per ton afval als Twence lijn 1+2
19	ARN, Milieujaarverslag 2008 Overheidsverslag
17	Gelijk aan eigen verbruik per ton afval als AEB AEC
18	Gelijk aan eigen verbruik per ton afval als HVC Alkmaar
19	Gelijk aan eigen verbruik per ton afval als lijn 1-3
20	Gelijk aan eigen verbruik per ton afval als SITA ReEnergy
21	Gelijk aan eigen verbruik per ton afval als Dordrecht new

De R1-waarde in de op een na laatste kolom in Tabel 4 is berekend met behulp van de formule: $EE = (E_p - (E_f + E_i)) / (0,97 * (E_w + E_f))$ (Lap2 2009), met:

In (LAP2, 2009) zijn de waarde als volgt toegelicht:

- E_p is de geproduceerde energie in warmte en/of elektriciteit. Waarbij elektriciteit wordt vermenigvuldigd met 2,6 bij in- en uitvoer van de AVI-installatie en warmte wordt vermenigvuldigd met 1,1 bij in- en uitvoer van de AVI-installatie. (=2,6 * kolom 5 e+ 1,1 * kolom 7).
- E_f is de energie uit brandstoffen die bijdragen aan de stoomproductie. E_f wordt standaard bepaald door de helft van de toegevoegde brandstoffen aan de ketel te nemen voor E_f en de andere helft voor E_i (50% van kolom 4).



- E_i is het energieverbruik door de AVI-installatie die niet bijdraagt aan de stoomproductie. E_i wordt bepaald door alle energie die aan het AVI-installatie naast de brandstoffen voor de ketel is toegevoerd en de energie toegevoegd aan de ketel, verminderd met E_f ($3,6 * \text{kolom } 6 + 0,5 * \text{kolom } 4$).
- E_w is de energie van het verbrande afval. E_w wordt bepaald door het product van gewicht van verbrand afval en de LHV van het verbrande afval (kolom1 * kolom 2 = kolom3).

De energetische input van brandstoffen (kolom 4) is in veel gevallen gemodelleerd op de bekende waarde van R. Het elektrisch rendement is berekend door de netto geleverde energie te delen door de totaal benodigde brandstof ($(3*6*\text{kolom } 5 - \text{kolom } 6) / (\text{kolom } 3 + \text{kolom } 4)$).

Het warmterendement is bepaald door de geleverde warmte te delen door de totaal benodigde brandstof (kolom 7 / (kolom 3 + kolom 4)).

Onzekerheid

Met name in de energetische input van brandstoffen, maar ook voor het eigen verbruik en de verbrandingswaarde bestaat een zekere mate van onzekerheid. We schatten dat de onzekerheid in deze data een onzekerheid in de CO₂-emissies met zich meebrengt in de orde grootte van 20 kg CO₂/ton. Binnen deze onzekerheidsmarge kunnen de waarden voor de energetische input van brandstoffen variëren met ± 60%, die van het eigen verbruik met ± 25% of die van de verbrandingswaarde met ± 5%.



Bijlage B Emissies afvaltransport

In Tabel 6 zijn de transportemissies van verschillende transportwijzen per tonkm opgegeven volgens gemiddelde logistieke parameters en verbruikscijfers uit de recent geüpdate transport database STREAM (CE, 2008).

Tabel 6 Emissiefactoren (well-to-wheel, WTW) en bij gemiddeld verbruik en benuttinggraad volgens STREAM

Vervoerswijze	Emissie (kg/tonkm)	Verbruik	Benuttingsgraad*
Vrachtauto >20 ton	0,112	0,32 L/km	33%
Trekker met oplegger	0,080	0,30 L/km	43%
Trein elektrisch	0,017	56,86 MJ/km	71%
Trein diesel	0,023	150,77 MJ/km	71%
Binnenvaart (36 TEU)	0,062	143,62 MJ/km	53%

* De benuttingsgraad is het product van de beladingsgraad (belading/capaciteit*100%) en het percentage beladen kilometers.

In Tabel 2 zijn de transportemissies van verschillende vervoerswijzen weergegeven volgens verbruikscijfers en beladingsgraden zoals opgegeven door SITA, aangevuld met gegevens uit STREAM. Ten opzichte van de gemiddelde data in Tabel 7 zijn de emissies voor vrachtauto lager door een betere benuttingsgraad van afvaltransport. De emissies voor de trein en binnenvaart zijn iets hoger vanwege een voorzichtige inschatting van de benuttingsgraad. De waarden bij een eventueel hogere benuttingsgraad zijn tussen haakjes weergegeven. Onderstaande waarden zijn gebruik in het hoofdrapport.

Tabel 7 Emissiefactoren (Well-to-Wheel, WTW) en karakteristieken voor transport op basis van gegevens van SITA op basis van berekeningen uit STREAM

Vervoerswijze	Emissie (kg/tonkm)	Verbruik	Benuttingsgraad*
Vrachtauto (lading 24 ton)	0,070	0,40 (L/km)	67%
Eurocombi (lading 32 ton)	0,063	0,48 (L/km)	59%
Trein elektrisch	0,020 (0,016)	46 (58) MJ/km	50% (75%)
Trein diesel	0,028 (0,022)	125 (152) MJ/km	50% (75%)
Binnenvaart (36 TEU)	0,067 (0,050)	147 (166) MJ/km	50% (75%)

* De benuttingsgraad is het product van de beladingsgraad (belading/capaciteit*100%) en het percentage beladen kilometers.





Bijlage C Afstandstabel

In Tabel 8 is aangegeven hoeveel extra afstanden kunnen worden gereden voordat de AVI in de kolom een gelijke prestatie levert met de AVI in de kolom.

De AVI in de linkerkolom scoort in principe beter dan die in de bovenrij tenzij er meer dan de aangegeven kilometers worden gereden (enkele reis afstand met een vrachtwagen).

Tabel 8 Afstandstabel

	AZN	ARN	AEB	EVI	HVC Dordrecht	SITA ReEnergy	HVC Alkmaar	Twence	Essent Wijster	AVR Rijnmond	AVR Duiven	AVR Rotterdam
AZN	-	847	872	1.338	1.481	1.740	2.050	2.103	2.384	2.773	3.212	4.138
ARN	-	-	25	491	634	892	1.203	1.256	1.537	1.925	2.365	3.291
AEB	-	-	-	466	609	867	1.178	1.231	1.512	1.901	2.340	3.266
EVI	-	-	-	-	143	401	712	765	1.046	1.434	1.874	2.800
HVC Dordrecht	-	-	-	-	-	258	569	622	903	1.292	1.731	2.657
SITA ReEnergy	-	-	-	-	-	-	311	364	645	1.033	1.473	2.399
HVC Alkmaar	-	-	-	-	-	-	-	53	334	723	1.162	2.088
Twence	-	-	-	-	-	-	-	-	281	670	1.109	2.035
Essent Wijster	-	-	-	-	-	-	-	-	-	388	828	1.754
AVR Rijnmond	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	439	1.365
AVR Duiven	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	926
AVR Rotterdam	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Voorbeeld voor gebruik afstanden tabel

De keuze gaat tussen afval naar het AEB in Amsterdam of de installatie van AVR in Duiven. Links zoekt u de AEB op (derde AVI van boven), rechts AVR Duiven (een na laatste). U kunt aflezen dat de AEB beter scoort tenzij u 2.340 km extra met afval moet rijden. Op basis van deze afstand kunt u concluderen dat de vergelijking in de Nederlandse context altijd in het voordeel van het AEB zal uitvallen.

