

# EINDVERSLAG TEBE PROJECT KOSTEN EFFECTIEVE VERGASSING EN REINIGING (KEVER)

revisie 1

**OPENBAAR**

*Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken,  
Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie  
uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland*

Dahlman Renewable Technology (DRT):  
ECN part of TNO (ECN>TNO):

Robin Zwart  
Sander Grootjes

robin.zwart@synovapower.com  
sander.grootjes@tno.nl

Datum:	Maart 2019	Referentie klant:	TEBE216175
Project naam:	KEVER	Referentie DRT:	74.0266
Klant:	RVO	Referentie ECN:	5.4727

## Content

1	PROJECT GEGEVENS.....	3
2	OPENBARE SAMENVATTING .....	4
2.1	Aanleiding .....	4
2.2	Doel van het project .....	4
2.3	Korte omschrijvingen van de activiteiten.....	4
2.4	Resultaat .....	4
2.5	Partners.....	4
3	PROJECT UITVOERING.....	5
3.1	Resultaten .....	5
3.2	Highlights .....	5
3.3	Knelpunten .....	6
3.4	Perspectief voor toepassing.....	6
3.5	Bijdrage aan biobased economy.....	6
3.6	Bijdrage aan duurzame energiehuishouding .....	7
3.7	Versterking van de kennispositie .....	8
3.8	Spin off binnen en buiten de sector .....	8
4	PUBLICATIES .....	10
4.1	Vakbladen .....	10
4.2	Presentaties .....	10
4.3	Persberichten .....	10

Datum:	Maart 2019	Referentie klant:	TEBE216175
Project naam:	KEVER	Referentie DRT:	74.0266
Klant:	RVO	Referentie ECN:	5.4727

## 1 Project gegevens

- Project number : TEBE216175
- Project title : Kosten effectieve vergassing en reiniging (KEVER)
- Coordinator : Dahlman Renewable Technology (DRT)  
Contact persoon coordinator : Robin Zwart  
E-mail : robin.zwart@synovapower.com
- Partner : ECN part of TNO (ECN)  
Contact persoon partner : Sander Grootjes  
E-mail : sander.grootjes@tno.nl
- Project duur : September 2016 – Maart 2019
- Rapportage datum : Maart 2019  
Beschikbaarheid eindrapportage : Alleen in PDF format  
Beschikbaarheid publicaties : Op verzoek  
Kosten : Niet van toepassing

Datum:	Maart 2019	Referentie klant:	TEBE216175
Project naam:	KEVER	Referentie DRT:	74.0266
Klant:	RVO	Referentie ECN:	5.4727

## 2 Openbare samenvatting

### 2.1 Aanleiding

De implementatie van groen gas via vergassing is essentieel om doelstellingen voor vergroening van het Nederlandse aardgasnet te kunnen realiseren. Het 4 MW<sub>th</sub> Ambigo project in Alkmaar, gebaseerd op Nederlandse MILENA-OLGA technologie, is hierbij een belangrijke stap naar commerciële installaties. Ter ondersteuning van opschaling en marktintroductie is flankerend onderzoek nodig.

### 2.2 Doel van het project

Hoofddoel is kostenreductie en verlaging van opschalingsrisico's bij groen gas productie op basis van vergassing. Gekeken wordt naar maximale benutting van biomassa(rest)stromen en beperking van productiekosten door terugvoer van proceseigen afvalstromen naar de vergasser. Op deze wijze worden opbrengsten verhoogd en afvalkosten vermeden, waarbij "zero-waste-discharge" het uiteindelijke doel is.

### 2.3 Korte omschrijvingen van de activiteiten

De focus in het project ligt op drie belangrijke stappen in iedere vergassing-gebaseerde waardeketen: voeding, conversie en eerste gasreiniging. Hier liggen belangrijke technische risico's en komen afvalstromen vrij. Na deze universele stappen kunnen voor de valorisatie van het productgas verschillende routes worden bewandeld, gericht op producten als groen gas, biobrandstoffen, chemicaliën, elektriciteit en (proces)warmte, of combinaties daarvan (cascadering naar functie).

Het onderzoek betreft vooral de terugvoer van afvalstromen naar ofwel de vergassingszone (voor verhoogde groen gas opbrengst) ofwel de verbrandingszone (voor Zero Waste Discharge) van een indirecte vergasser. De nadruk ligt daarbij op de bepaling van de interactie tussen de teruggevoerde afvalstroom en het reactor bed in opgeschaalde installaties, om zo de optimale voedingsstrategie te ontwikkelen en het hydrodynamische reactorontwerp te optimaliseren. Belangrijke procesparameters zijn de temperatuurhuishouding, de conversie en gas en waterzijdige emissies.

### 2.4 Resultaat

De ontwikkelde terugvoerstrategieën en reactorontwerpen leiden tot kostenreductie en verlaging van opschalingsrisico's en dragen daarmee bij aan verdere ontwikkeling en marktintroductie van groen gas via vergassing. De resultaten worden toegepast in de Ambigo plant en toekomstige grootschalige groen gas installaties, maar zijn tevens relevant voor andere toepassingen van (indirecte) vergassing.

### 2.5 Partners

Dahlman Renewable Technology (DRT) en ECN part of TNO (ECN) werken al geruime tijd samen in de ontwikkeling en implementatie van de MILENA vergassing en OLGA gasreiniging technologieën. Beide technologieën zijn gepatenteerde uitvindingen van ECN, die in nauwe samenwerking met DRT verder zijn ontwikkeld. Nadat OLGA technologie en MILENA technologieën eerder gelicenseerd waren aan DRT hebben beide partners in 2017 voor de verdere commercialisatie en doorontwikkeling van de technologieën de Joint Venture MILENA-OLGA Joint Innovation opgericht.

Datum:	Maart 2019	Referentie klant:	TEBE216175
Project naam:	KEVER	Referentie DRT:	74.0266
Klant:	RVO	Referentie ECN:	5.4727

### 3 Project uitvoering

#### 3.1 Resultaten

Gedurende een periode van 2½ jaar zijn uitgebreide testen uitgevoerd met het terugvoeren van reststromen uit de gasreiniging naar de vergassingsinstallatie. Deze testen hebben aangetoond dat de terugvoer van teren, as en afvalwater vanzelfsprekend de warmtehuishouding in de vergasser beïnvloeden. De dosering van afvalwater en teren/as in het wervelbed leiden zoals verwacht niet tot de nadelige vorming van lokale cold- respectievelijk hotspots. Verder tonen gasanalyses aan dat emissies aan de verbrandingszijde van de MILENA veranderen, maar dat deze veranderingen niet onoverkomelijk zijn in een industrieel ontwerp van de MILENA.

#### 3.2 Highlights



Cold-flow testen op een schaal representatief voor een industriële schaal hebben verder aangetoond dat de aanpassingen aan de MILENA reactor geen verstoring geven op de hydrodynamica van de twee geïntegreerde fluïde bedden.

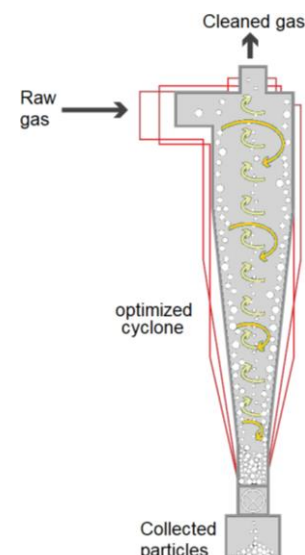
Om dit verder te onderbouwen is het industriële en inmiddels gepatenteerde herontwerp van de MILENA gebruikt in computational fluid dynamics (CFD) modellering om ook onder normale bedrijfstemperaturen en -drukken zowel de hydrodynamica van de fluïde bedden als de temperatuurvereffening van koudere en hetere stromen in het bed te kunnen verifiëren.

De CFD modelleringen laten ook zien dat de drukprofielen onder normale condities overeenkomen met de ontwerpmodellen en dat het drukverschil tussen verbrandings- en vergassingszone beperkt gehouden kunnen worden.

Met betrekking tot de OLGA is gekeken naar de impact van andere brandstoffen voor de vergasser op de hoeveelheid stof en teer, maar ook de verhouding aan teren, in het productgas. Deze parameters bepalen uiteindelijk de samenstelling van de teerolie en het noodzakelijk zijn van verdere opwerking van teerolie en terugvoer van teren naar de vergasser.

Voor de opwerking van de teerolie is zowel gekeken naar het filteren of decanteren van olie (nageschakelde behandeling) als naar het verbeteren van de stofafvangst voor OLGA en teerafvangst in de 1<sup>e</sup> loop van OLGA. Dit alles ten behoeve van het verlagen van de viscositeit van de teerolie en daarmee verbeterde handelbaarheid van de teerolie.

Hierbij zijn met name de verbeterde afvangst van stof in het voorgeschakelde cycloon (getest in samenwerking met het Portugese ACS) en de aangetoonde verbeterde teerafvangst in de 1<sup>e</sup> loop van OLGA dusdanig dat nageschakelde behandeling van de teerolie niet noodzakelijk is. De verbeterde teerafvangst is mede het gevolg van lagere temperaturen in de vergassing en daarmee de productie van minder hoog-visceuze teren.



Datum:	Maart 2019	Referentie klant:	TEBE216175
Project naam:	KEVER	Referentie DRT:	74.0266
Klant:	RVO	Referentie ECN:	5.4727

### 3.3 Knelpunten

Gedurende het project had DRT slechts beperkte mogelijkheden tot het uitvoeren van uitgebreide R&D programma's op op industriële schaal. Ondanks dat zijn operationele data van de installaties in Portugal (OLGA achter conventionele CFB vergasser) en India (OLGA achter MILENA vergasser) gebruikt als referentie en vergeleken met testen op het lab en de pilot bij ECN. Door verder het ombouwen van de 800 kW<sub>th</sub> pilot MILENA vergasser naar een volledige BFB verbrander konden relevante testen uitgevoerd worden op het terugvoeren van teren en assen in een wervelbed. De grotere hoeveelheden teer en as die ECN hiervoor nodig had zijn geleverd vanuit de installatie in Tondela, Portugal. Vergelijkbaar zijn assen verstuurd naar ACS in Portugal voor het testen en verdere optimalisatie van de cyclonen.

### 3.4 Perspectief voor toepassing

De MILENA vergasser en OLGA teerverwijdering zijn ontwikkeld om op een zo efficiënt en duurzaam mogelijke manier energie te maken van vaste biomassa of afvalstromen. Vergassing levert een energierijk productgas (H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O) dat mits goed gereinigd breed toegepast kan worden. De toepassingen waar de focus op ligt zijn WKK (warmte en kracht) en groen gas (SNG op een kwaliteit die geïnjecteerd kan worden in ons aardgasnet). Daarnaast zijn er vele andere mogelijkheden, vloeibare transport brandstoffen, productie van waterstof en voeding van chemische processen (BTX).

In veel van deze toepassingen is de aanwezigheid van N<sub>2</sub> niet gewenst omdat dit de calorische waarde van het productgas dusdanig verlaagt dat het gas niet geschikt is voor de productie van SNG of de productie van elektriciteit met behulp van gasturbines. En ook in de productie van vloeibare brandstoffen is het N<sub>2</sub> niet gewenst daar het leidt tot aanzienlijke toename van het parasitair energieverbruik in de voor deze toepassing noodzakelijke compressie. Dat maakt het dat conventionele luchtgeblazen directe vergassers feitelijk niet geschikt zijn voor dergelijke toepassingen.

De toepasbaarheid van vergassing en teerreiniging worden grotendeels ook bepaald door een goede integratie van de twee. Voor MILENA en OLGA is dit misschien nog wel meer relevant, omdat door de fysische verwijdering van teren middels quench en absorptie in de OLGA, de MILENA geoptimaliseerd kon worden naar rendement (maar ook meer teer) en naar brandstof flexibiliteit (maar ook meer assen en inert componenten). Het vernieuwde ontwerp van de MILENA, maar ook de aangetoonde terugvoer van reststromen uit de gasreiniging, zorgt voor een breder toepasbare én meer gestandaardiseerde uitvoeringsvorm van de MILENA vergasser en OLGA teerverwijdering. Daarmee is de technologie ook kosten effectiever geworden.

### 3.5 Bijdrage aan biobased economy

Het KEVER project richt zich op de productie van groen gas door middel van vergassing en past als zodanig in het TKI programma "Groen Gas Vergassing" gericht op lagere productie kosten voor groen gas. Vergassing is een sleuteltechnologie voor robuuste, grootschalige waardecreatie uit biomassa. Valorisatieschema's voor vergassing kunnen daarbij bestaan uit cascadering middels coproductie van bijvoorbeeld combinaties van energieproducten (groen gas, biobrandstoffen, elektriciteit en warmte) of combinaties van elektriciteit en chemische producten omvatten. Het door ECN ontwikkelde concept van co-productie van BTX door selectieve extractie van BTX uit syngas is een voorbeeld van dit laatste.

Datum:	Maart 2019	Referentie klant:	TEBE216175
Project naam:	KEVER	Referentie DRT:	74.0266
Klant:	RVO	Referentie ECN:	5.4727

In de afgelopen jaren is indirecte vergassing het meest aantrekkelijke vergassingstechnologie concept voor biomassa gebleken, met verschillende succesvolle marktintroducties van de FICFB vergasser. MILENA is ook een indirecte vergasser, dat echter een hogere conversie rendement mogelijk maakt dan het FICFB-concept als gevolg van verschillen in reactorontwerp. Door reststromen uit het proces te recyclen, zoals koolstofhoudende as en vloeibare organische stoffen die reststromen van de gasreiniging bevatten, wordt het proces nog efficiënter, terwijl tegelijkertijd de verwerkingskosten voor afvalstromen worden gereduceerd.

Het 4 MW<sub>th</sub> Ambigo-project in Alkmaar, uitgerust met de innovatieve MILENA-OLGA-technologie, zal aantonen dat de productie van groen gas uit sloophout kan plaatsvinden bij een energie-rendement van 70%, terwijl afvalhout momenteel wordt toegepast in conventionele verbrandingstoepassingen met veel geringere toegevoegde waarde. De FICFB-RME-technologie voor de productie van groen gas via vergassing heeft een energie-rendement van 65% tegenover groen gas. De netto energie besparing door toepassing van MILENA-OLGA-technologie is dus 7,5%. Het Ambigo-project voorziet in de levering van groen gas voor 1400 huishoudens. Latere commerciële centrales van 50 MW<sub>th</sub> kunnen bijna 1 PJ aardgas vervangen en voldoende gas leveren voor complete steden.

### 3.6 Bijdrage aan duurzame energiehuishouding

Groen gas zal een doorbraak betekenen voor de Nederlandse duurzame energiehuishouding. Momenteel is fossiel aardgas nog steeds dominant, maar het wordt zwaar bekritiseerd vanwege milieu impact (CO<sub>2</sub>-emissies) en sociale impact (aardbevingen in Groningen). Vergisting als technologie voor de productie van groen gas heeft een significant, maar beperkt potentieel (2,2 miljard kubieke meter volgens de routekaart Groen Gas in vergelijking met het totale jaarlijkse aardgasverbruik van ongeveer 40 miljard kubieke meter).

Vergassing heeft een veel groter potentieel, vooral in combinatie met grootschalige import van biomassa. Het kan worden gezien als een sleuteltechnologie voor het vergroenen van het gasnetwerk en voor een reeks andere toepassingen (biobrandstoffen, chemicaliën en tot op zekere hoogte ook elektriciteit en warmte). De bijdrage van dit project is het kunnen produceren groen gas (en andere "groene" (energie) producten) tegen lagere kosten en hoger rendement (en dus lagere CO<sub>2</sub>-emissies). Er wordt verwezen naar het 32 MW<sub>th</sub> GoBiGas-project waarvoor de breakeven-prijs van de 20 MW<sub>th</sub> geproduceerde SNG naar verluidt 0,83 SEK/kWh<sub>SNG</sub><sup>[1]</sup> of 0,087 €/kWh<sub>SNG</sub> bedroeg.

Voor de efficiëntere MILENA-OLGA-technologie zou dit lager moeten worden. Momenteel wordt deze prijs echter nog niet bereikt vanwege onder andere beperkingen in bedrijfsuren, toepasbare grondstof, conversie-rendementen en problemen bij het effectief gebruiken van de reststromen van de gasreiniging. De tarieven van SDE + voor groen gas gegenereerd door vergassing in Nederland liggen tussen de 0,064 en 0,106 € / kWh<sub>SNG</sub>, ruim boven de beoogde breakevenprijs, maar nog steeds onder de werkelijke productiekosten. Dit toont aan dat de innovaties die binnen dit project zijn geëvalueerd moeten worden geïmplementeerd. De innovaties zijn nodig om de kosten van de productie van groen gas te verlagen tot de beoogde breakeven-prijzen, niet alleen voor MILENA-OLGA maar voor (indirecte) vergassing in het algemeen.

<sup>1</sup> Chalmers University of Technology, Integration of power-to-gas in Gasendal and Gobigas

Datum:	Maart 2019	Referentie klant:	TEBE216175
Project naam:	KEVER	Referentie DRT:	74.0266
Klant:	RVO	Referentie ECN:	5.4727

Toepassing van groen gas in de energieproductie of in huishouden (koken en verwarmen) leidt tot een CO<sub>2</sub>-emissiereductie van 2,3 kg CO<sub>2</sub> per kg aardgas, inclusief transport van biomassa in de overall productie keten. Met 2,2 miljard kubieke meter groen gas beoogd in 2030 komende uit vergisting dient de resterende 0,8 miljard kubieke meter te komen uit vergassing, oftewel 1,5 Mton CO<sub>2</sub>-reductie in 2030. Na 2030 zal de groen gas markt naar verwachting nog verder groeien tot 30 miljard kubieke meter per jaar, die alleen kan worden geproduceerd middels vergassing. Om dit te realiseren moet de schaal worden verhoogd, waardoor ook BECCS-opties kunnen worden opgenomen. In het geval van productie van groen gas zal dit leiden tot een extra 2,4 kg CO<sub>2</sub> per kg geproduceerd groen gas dat kan worden opgeslagen. Dit leidt tot een CO<sub>2</sub>-emissiereductie potentieel van 105 Mton CO<sub>2</sub> in 2050.

### 3.7 Versterking van de kennispositie

DRT en ECN werken al geruime tijd samen in de ontwikkeling en implementatie van de MILENA vergassing en OLGA gasreiniging technologieën. Beide technologieën zijn gepatenteerde uitvindingen van ECN, die in nauwe samenwerking met DRT verder zijn ontwikkeld. Nadat OLGA technologie en MILENA technologieën eerder gelicenseerd waren aan DRT hebben beide partners in 2017 voor de verdere commercialisatie en doorontwikkeling van de technologieën de Joint Venture MILENA-OLGA Joint Innovation (MOJI) opgericht. Onderdeel van de overeenkomst is dat alle kennis ontwikkeld op het gebied van vergassing en gasreiniging eigendom blijft van MOJI. Dat geldt voor opgedane kennis in dit KEVER project, maar ook wanneer deze kennis opgedaan is bij doorontwikkeling door derden op commerciële MILENA-OLGA installaties. Hiermee blijft de kennispositie van DRT en ECN gehandhaafd.

### 3.8 Spin off binnen en buiten de sector

Een van de implementaties van de groen gastechnologie is het 4 MW<sub>th</sub> Ambigo-project, waar 300 Nm<sup>3</sup> per uur groen gas zal worden geproduceerd. Bij 7000 bedrijfsuren leidt dit tot een levering van gas dat gelijk is aan het jaarverbruik van 1400 huishoudens, wat overeenkomt met een besparing van 4830 ton CO<sub>2</sub>. Hierbij wordt nog geen rekening gehouden met de mogelijkheid van CO<sub>2</sub>-opslag. Wanneer deze installatie succesvol is, zal deze met vermoedelijk een factor 12½ worden opgeschaald, wat leidt tot een mogelijke besparing van 60 kton CO<sub>2</sub> per jaar per geïnstalleerde installatie en een mogelijke extra besparing van 63 kton per jaar in het geval dat de CO<sub>2</sub> wordt opgeslagen.

De green deal van oktober 2011 beschreef een doelstelling voor het produceren van groen gas via biologische (vergisting) en chemische (vergassing) routes. Tegen 2030 zouden we jaarlijks 3 miljard kubieke meter groen gas moeten produceren. Ter vergelijking, de totale jaarlijkse aardgasconsumptie in Nederland bedraagt circa 40 miljard kubieke meter. De 3 miljard kubieke meter kan voor ongeveer 75% geleverd worden middels vergisting. Dit betekent dat in 2030 vergassing ook al nodig zal zijn om de resterende productie van groen gas te dekken. Op basis van de innovatieve MILENA-OLGA technologie komt dit overeen met 1,3 GW<sub>th</sub> geïnstalleerd vermogen, wat zich vertaalt in 25 installaties van 50 MW<sub>th</sub>.

Na 2030 is het doel om het aandeel groen gas verder te verhogen tot 30 miljard kubieke meter in 2050, waarvoor vergisting slechts beperkt een optie is. 50 MW<sub>th</sub> vergassingsinstallaties kunnen commercieel opereren, hoewel verdere opschaling van de technologie naar ten minste 200-300 MW<sub>th</sub> haalbaar wordt geacht. Hiermee is het spin off potentieel voor 50 MW<sub>th</sub> installaties, maar ook voor opgeschaalde installaties, groot. Mogelijk dat bij opschaling het noodzakelijk zal zijn om meerdere vergassers te installeren, alle gasreiniging en gasopwerking inclusief OLGA kan één opgeschaald systeem blijven.

Datum:	Maart 2019	Referentie klant:	TEBE216175
Project naam:	KEVER	Referentie DRT:	74.0266
Klant:	RVO	Referentie ECN:	5.4727



Bij de bepaling van het spin off potentieel is van belang om rekening te houden met toepassing in andere sectoren. De resultaten van het KEVER-project zijn niet beperkt tot toepassingen van groen gas, maar kunnen worden gebruikt in projecten voor afval naar energie, WKK-projecten en andere projecten op basis van vergassing die in ontwikkeling zijn bij DRT. De voorziene schaal van MILENA is 15-100 MW<sub>th</sub> en in 2023 verwacht DRT wereldwijd ongeveer 20 installaties online, voornamelijk WKK-toepassingen. Zodra de Ambigo installatie ook succesvol bedreven is zal verdere opschaling naar grootschalige 50 MW<sub>th</sub> SNG-fabrieken waarschijnlijk rond 2023 beginnen.

Niet alleen zullen de resultaten van KEVER bijdragen aan het succes van de ontwikkeling van groen gas, maar het zal ook de implementatie van Nederlandse technologieën in een wereldwijde markt helpen. Dit zal leiden tot extra werkgelegenheid, met name binnen het MKB.

Datum:	Maart 2019	Referentie klant:	TEBE216175
Project naam:	KEVER	Referentie DRT:	74.0266
Klant:	RVO	Referentie ECN:	5.4727

## 4 Publicaties

### 4.1 Vakbladen

2016-11-30	Engie announces two 'dry biomass-to-gas' project collaborations	Bioenergy Insight
2017-10-10	Synova and the pursuit of clean, green and lean	Biofuels Digest

### 4.2 Presentaties

2017-05-23	Towards the commercialization of the ESME technology for Bio-SNG production – The AMBIGO project	REGATEC 2017, Pacengo, Italy
2017-08-19	MILENA and OLGA - development of biomass gasification towards green chemicals	TC biomass2017, Chicago, USA
2017-10-16	MILENA and OLGA - development of biomass and waste gasification towards green chemicals	2017 syngas technologies conference, Colorado Springs, USA
2017-10-20	Proving municipal solid waste (MSW) as a viable biomass feedstock in an integrated environment	International biomass conference Malaysia 2017, Kuching, Malaysia
2018-05-14	Cold flow video analysis of char distribution in the indirect MILENA gasifier	26 <sup>th</sup> European Biomass Conference and Exhibition, Copenhagen, Denmark
	MILENA-OLGA: clean syngas on specification for downstream technology	2019 Global Syngas Technologies Conference, Colorado Springs, USA

### 4.3 Persberichten

2017-04-14	New joint venture MOJI	Press release
2017-05-01	Synova take over	Press release
2017-10-24	Unique biomass gasification plant India to contribute to sustainable energy generation	Newsletter
2018-03-10	Nederlanders zetten Thais afval om in gas	Telegraaf
2018-08-02	We're drowning in trash; these Dutch scientists have a solution	Washington Post

Datum:	Maart 2019	Referentie klant:	TEBE216175
Project naam:	KEVER	Referentie DRT:	74.0266
Klant:	RVO	Referentie ECN:	5.4727