

Hoogwaardig gebruik van reststromen propaan in de Nederlandse chemische industrie

Een verkenning binnen de Routekaart Chemie

Rapport

Delft, september 2012

Opgesteld door:

A. (Ab) de Buck
M.R. (Maarten) Afman
H.J. (Harry) Croezen
M. (Marit) van Lieshout



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

A. (Ab) de Buck, M.R. (Maarten) Afman, H.J. (Harry) Croezen, M. (Marit) van Lieshout
Hoogwaardig gebruik van reststromen propaan in de Nederlandse chemische industrie
Een verkenning binnen de Routekaart Chemie

Delft, CE Delft, september 2012

Publicatienummer: 12.3803.65

Opdrachtgever: Agentschap NL.

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

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Ab de Buck.

© 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	9
2	Productie reststromen propaan in de Rotterdamse Haven	11
2.1	Samenvatting	11
2.2	Neste Oil Netherlands	12
2.3	Koch HC Partnership	13
2.4	Gate LNG-terminal	14
2.5	Olieraffinaderijen	16
2.6	Locaties van de bedrijven	17
3	Gebruik van propeen door de Nederlandse chemische industrie	19
4	Technologie voor omzetting propaan naar propeen	21
4.1	Procesbeschrijving	22
5	Eerste aanzet voor business case	27
5.1	Capaciteit en opzet van de dehydrogenatieplant	27
5.2	Locatie	28
5.3	Logistieke aansluiting op pijpleidingen	29
5.4	Conclusies	31
6	Investerings en economische haalbaarheid	33
6.1	Investerings	33
6.2	Prijzen propaan en propeen	34
6.3	Economisch model	36
6.4	Beoordeling rendabiliteit	37
7	Impact op energiebesparing en CO₂-emissiereductie	39
7.1	Referentie en afbakening	39
7.2	Besparingen op primair energiegebruik en CO ₂ -emissies	40
8	Onzekere factoren en risico's	43
8.1	Continuïteit processen & aanvoer reststromen	43
8.2	Kosten voor 'afkoppeling'/'zuivering' reststromen propaan	44
8.3	Samenwerking tussen de partijen (toeleverancier reststroom, gebruiker)	44
8.4	Kostprijzontwikkeling propaan/propeen/nafta	45
9	Conclusies en aanbevelingen	49
9.1	Conclusies	49
9.2	Aanbeveling	50



	Literatuurlijst	51
Bijlage A	Geraadpleegde bedrijven en contactpersonen	55
Bijlage B	Vraag naar propeen in de Nederlandse chemische industrie	57



Samenvatting

VNCI heeft in de Routekaart Chemie een ambitie uitgewerkt om de Nederlandse chemische industrie fors te verduurzamen. De ambitie is om in 2030 40% minder broeikasgassen uit te stoten. Agentschap NL biedt VNCI ondersteuning bij de uitwerking van de Routekaart. Het onderhavige onderzoek is in dat kader gefaciliteerd door Agentschap NL.

In het kader van de Routekaart Chemie is de chemische industrie actief op zoek naar concrete opties om in haar processen en producten de efficiency te verhogen. Een route is daarbij om 'reststromen' hoogwaardiger te benutten, en in te zetten als grondstof. Dit onderzoek richt zich op reststromen propaan uit de olie- en gasverwerkende industrie. Deze worden nu deels als brandstof ('stookgas') ingezet. Technisch is het mogelijk propaan om te zetten in propeen, dat als grondstof voor de chemische industrie kan worden gebruikt.

Door het hoogwaardiger benutten van deze reststroom wordt in de keten een reductie van CO₂ gerealiseerd. Tegelijk kan het economisch interessant zijn, vanwege de hoge marktprijzen van propeen. De studie focust op de regio Rotterdam, omdat leveranciers van propaan en afnemers van propeen daar het meest dichtbij elkaar gevestigd zijn.

Tabel 1 geeft een overzicht van bedrijven in de Rotterdamse Haven waar reststromen propaan vrij komen. Bij Neste komt een reststroom vrij in de orde van ca. 50-55 kton/jaar, bij Koch een stroom van ca. 10 kton/jaar. Bij raffinaderijen bevat het stookgas propaan in de orde van ca. 200-300 kton/jaar. Een potentieel belangrijke stroom is verder de hoeveelheid die vrij komt bij de Gate LNG-terminal. Op dit moment is de doorzet van deze terminal zeer beperkt, maar als deze op volle capaciteit gaat draaien, zal er een aanzienlijke stroom vrijkomen, in de orde tot max. 350 kton/jaar.

Naast de reststromen propaan, komen in de haven ook stromen propaan vrij die per schip naar klanten worden vervoerd. Het gaat hierbij om stromen van raffinaderijen in de omvang van ca. 150-200 kton/jaar. Daarnaast wordt ook vanuit LyondellBasell een stroom propaan op de markt afgezet, in de orde van ca. 8-15 kton/jaar.



Tabel 1 Overzicht van bedrijven in de Rotterdamse Haven waar stromen propaan vrijkomen

	Productie (kton/jaar)	Proces	Huidige toepassing	Opmerkingen
Reststromen				
Neste	50-55	Biodiesel	Brandstof in elektriciteits- centrale	Bij 100% productie
Koch HC Partnership	10	Raffinage aardgas- condensaten	Stookgas	
Gate - huidige situatie (vrijwel geen doorzet LNG)	Verwaar- loosbaar	LNG- terminal	-	Gemiddeld ca. 1,7% propaan aanwezig in LNG
Gate - toekomst- scenario met hoge doorzet	50-350			Niet haalbaar binnen vijf jaar
Shell	100	Raffinage aardolie	Stookgas, 30- 40% van het	De hoeveelheden zijn ingeschat op basis van een gemiddelde van 0,5m% van de crude oil capacity dat als propaan in het stookgas terecht komt
BP	95		stookgas	
Esso	45		bestaat uit	
Kuwait	20		propaan	
<i>Totaal</i>	<i>330-680</i>		<i>Stookgas</i>	
Productstromen				
Raffinaderijen	150-200		Product	De hoeveelheden zijn ingeschat op basis van een gemiddelde van 0,4m% van de crude oil capacity dat als propaan in het stookgas terecht komt
LyondellBasel	8-15		Product	Afkomstig van twee locaties, Botlek en Maasvlakte
<i>Totaal</i>	<i>160-220</i>		<i>Product</i>	

Belangrijke potentiële afnemers van propeen zijn Lyondell (vestigingen op de Maasvlakte en in de Botlek) en Ducor (Botlek), met een totaalgebruik van propeengebruik van resp. ca. 400 en ca. 150 kton/jaar.

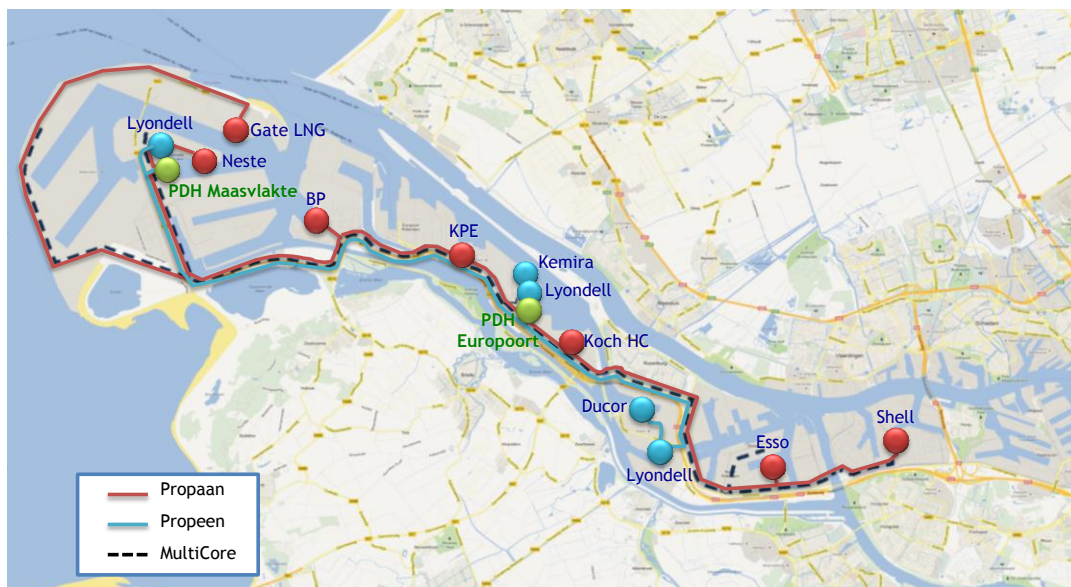
Technologie voor omzetting van propaan in propeen wordt door twee leveranciers op de markt gebracht, en in meer dan tien fabrieken wereldwijd toegepast. Volgens de technologieleveranciers UOP is schaalgrootte een kritieke factor, en moet een fabriek een capaciteit hebben van minstens 300 kton propeen/jaar.

Op basis van deze technologie is een 1ste business case ontwikkeld. Deze gaat uit van een fabriek met een productiecapaciteit van 350 kton propeen/jaar, die gevestigd zou kunnen worden op de Maasvlakte of in Europoort. De twee locaties worden geschetst in Figuur 1. In Figuur 1 zijn ook de mogelijke toeleveranciers van propaan en afnemers van propeen aangegeven. Toeleveranciers en afnemers worden via pijpleidingen met de fabriek



verbonden, waarbij zoveel mogelijk wordt aangesloten op de MultiCore-pijpleiding. Een punt van aandacht is hierbij of de omvang van de stromen propaan en propeen voldoende groot zullen zijn, om aanleg of uitbreiding van deze leidingen te justifiëren.

Figuur 1 Mogelijke locaties propaan-dehydrogenatiefabriek (Maasvlakte en Europoort), toeleveranciers van propaan en afnemers van propeen



Deze fabriek heeft een voedingsstroom van 430-450 kton/jaar. Deze bestaat uit minimaal 95 m% propaan, maximaal 2 m% ethaan en de rest zwaardere fracties. De productstroom bestaat voor 350 kton uit 'polymer grade' propeen, 14 kton waterstof en een residu-stroom aan stookgas.

Uitgaande van een gerapporteerde investering van M€ 340, schattingen voor investeringen in leidingwerk en lange termijn gemiddelde marktprijzen voor propaan en propeen (resp. 760 \$/ton en 1.490 \$/ton), volgt uit de business case een terugverdientijd van ca. 6,3 jaar. De resultaten van deze berekening zijn sterk afhankelijk van de propaan- en propeenprijzen.

De casus leidt tot een besparing in CO₂-emissies van 520 kton/jaar en een besparing op energiegebruik van 5,2 PJ/jaar. Deze besparing is het gevolg van het gegeven dat door het gebruik van de reststroom minder propeen hoeft te worden geproduceerd door naftakrakers. Dit leidt in de keten tot lagere CO₂-emissies bij de winning en raffinage van aardolie en bij de productie van propaan in naftakrakers.

De optie kan ook uit economisch perspectief aantrekkelijk zijn voor propeen-gebruikers omdat het een alternatief biedt voor relatief dure propeen uit naftakrakers. Tegelijk zouden propaanleveranciers meer meerwaarde kunnen genereren uit de reststroom.

Bij het beoordelen van de haalbaarheid van deze optie is een aantal risico-factoren van belang:

- Beschikbaarheid van propaanreststromen: kan gegarandeerd worden dat reststromen propaan in voldoende mate beschikbaar zijn? Met name is een onzekere factor welke hoeveelheden vrij zullen komen bij de LNG-terminal. Dit wordt beïnvloedt door de doorzet van de terminal, de specificaties van de producten van de terminal en de mate waarin het voor producten nodig is propaan af te scheiden.
- Economische haalbaarheid voor het afscheiden van propaan uit reststromen. Dit speelt met name bij de raffinaderijen.
- Kostprijsontwikkeling van propaan en propeen. De prijzen van propeen zijn in de afgelopen jaren fors gestegen, en het prijsverschil met propaan is gegroeid. Dit is gunstig voor de business case. De verdere ontwikkeling van de prijzen is echter onzeker en zal afhangen van o.a. de prijsontwikkeling van ruwe aardolie en de ontwikkeling van kraakcapaciteit op mondiale schaal.

Concluderend geldt dat het benutten van propaanreststromen voor productie van propeen een interessante optie zou kunnen zijn, met aanzienlijke reducties van energiegebruik en CO₂-emissies in de keten. Een cruciale randvoorwaarde is dat structureel voldoende propaanreststromen beschikbaar komen. De ontwikkeling van de prijzen van propaan en propeen is een bepalende factor voor de economische haalbaarheid.



1 Inleiding

VNCI heeft in de Routekaart Chemie een ambitieuze visie neergezet gericht op verdere verduurzaming van de Nederlandse chemische industrie.

De Routekaart bevat zes routes, die resulteren in een vermindering van de CO₂-uitstoot van de Nederlandse chemie in 2030 met 40% ten opzichte van 2005. Eén van de zes routes van de Routekaart is het vergroten van de efficiency. Naast efficiency van processen, gaat het daarbij om het verhogen de efficiency van productieketens.

Een optie is het vergroten van de efficiency in de productie van propeen, een belangrijke grondstof van de Nederlandse chemie. Propeen wordt nu hoofdzakelijk geproduceerd uit nafta, een product van aardolieraffinage. Een alternatief zou zijn om propaan dat vrijkomt bij de productie van biobrandstoffen, in raffinaderijen en bij de overslag van LNG in te zetten als grondstof voor de productie van propeen. De inzet als grondstof voor de chemie is hoogwaardiger dan de huidige toepassing van brandstof.

Technisch is het goed mogelijk om propaan om te zetten naar propeen, via dehydrogenatie. Dit is een commercieel beschikbare technologie met een wereldwijd totaal geïnstalleerde verwerkingscapaciteit van > 3,5 Mton/jaar. Belangrijke technologieleveranciers zijn UOP (Oleflex-proces) en Lummus (CATOFIN-proces).

De hoogwaardige inzet van propaan in een industriële dehydrogenatie-eenheid zou in de keten leiden tot een besparing op het gebruik van energie en in de emissies van broeikasgassen. Tegelijk zou het economisch interessant kunnen zijn vanwege de relatief hoge prijzen voor propeen.

Dit onderzoek brengt de reststromen propaan die vrijkomen in de Nederlandse chemische industrie en raffinagesector in kaart. Hierbij staan de volgende vragen centraal:

- Bij welke bedrijven komt er propaan vrij en in welke hoeveelheden?
- De kenmerken van deze propaanstromen, in termen van:
 - de continuïteit van deze stromen; en
 - de samenstelling en/of onzuiverheden.
- De huidige toepassingen voor propaan (verkoop als propeen (refinery grade), inzet als voertuigbrandstof (LPG), toepassing als stookgas, etc.)
- Technische opties om propaanreststromen om te zetten in propeen.
- Neveneffecten van omzetting, onder andere benutting van de waterstof die bij dehydrogenatie vrij komt. Deze zou ook nuttig benut kunnen worden bij industriële processen (ontzwaveling of hydrodeoxygenatie van plantaardige oliën).

Om de bovenstaande vragen te kunnen beantwoorden is contact opgenomen met de bedrijven Lyondell, Ducor, Gate terminal, Neste, Koch, BP en Shell. Op basis van de verzamelde informatie is een indicatief concept gemaakt van een mogelijke fabriek in de Rotterdamse Haven, dit indicatieve concept noemen we de business case.



Voor de business case brengen we indicatief in kaart:

- besparingen in CO₂-emissies en energiegebruik;
- benodigde investeringen;
- economische haalbaarheid;
- risico's.

Omdat de meeste propaanreststromen vrijkomen in de Rotterdamse Haven, en hier ook de belangrijkste potentiële afnemers van propeen zijn gevestigd, focust het onderzoek op de Rotterdamse Haven.



2 Productie reststromen propaan in de Rotterdamse Haven

2.1 Samenvatting

Propaanreststromen komen in de Rotterdamse Haven vrij bij zes bedrijven in de sectoren biodieselfabricage, raffinaderijen, opwerking van aardgas-condensaten en op- en overslag van LNG.

Tabel 2 geeft een overzicht van de reststromen propaan die bij deze bedrijven vrij komen. Deze reststromen worden op dit moment ingezet als brandstof ('stookgas') binnen het eigen bedrijf of bij een nabijgelegen bedrijf.

Er is nu een stroom van ca. 330 kton/jaar propaan die als reststroom verbrand wordt. Daarnaast is er een stroom van ca. 50-350 kton/jaar propaan die op langere termijn (> 5 jaar) vrij zou kunnen komen als de doorzet bij de Gate terminal significant stijgt¹.

Naast deze stromen zou ook gekeken kunnen worden naar aanvoer van propaan vanuit schepen. Een vereiste is dan dat op de PDH-fabriek opslag-capaciteit (opslagtanks) aanwezig is. In de Rotterdamse Haven komt propaan vrij vanuit raffinaderijen. Daarnaast is er een productstroom van LyondellBasel. Een andere optie is import van propaan vanuit andere leveranciers.

Tabel 2 Productiestromen propaan

	Productie kton/jaar	Proces	Huidige toepassing	Opmerkingen
Reststromen				
Neste	55-55	Biodiesel	Brandstof in elektriciteits-centrale	Bij 100% productie
Koch HC Partnership	10	Raffinage aardgas-condensaten	Stookgas	
Gate - huidige situatie (vrijwel geen doorzet LNG)	Verwaarloosbaar	LNG-terminal	-	Gemiddeld ca. 1,7% propaan aanwezig in LNG
Gate - toekomst-scenario met hoge doorzet	50-350			Niet haalbaar binnen vijf jaar
Shell	100	Raffinage aardolie	Stookgas, 30-40% van het stookgas bestaat uit propaan	De hoeveelheden zijn ingeschat o.b.v. een gemiddelde van 0,5m% van de crude oil capacity dat als propaan in het stookgas terecht
BP	95			
Esso	45			
KPE	20			

¹ Een mogelijke toekomstige optie is ook nog de oliewinning van Oranje Nassau Energie. Dit bedrijf is bezig met oliewinning in de Noordzee, nabij de 2^e Maasvlakte. Hierbij zouden mogelijk ook propaan/butaanreststromen vrij kunnen gaan komen.



	Productie kton/jaar	Proces	Huidige toepassing	Opmerkingen
				komt
<i>Totaal</i>	<i>330-680</i>		<i>Stookgas</i>	
Productstromen				
Raffinaderijen (Shell, Esso, BP, KPE)	150-200		Product	De hoeveelheden zijn ingeschat op basis van een gemiddelde van 0,5m% van de crude oil capacity dat als propaan in het stookgas terecht komt
LyondellBasel	8-15		Product	Afkomstig van twee locaties, Botlek en Maasvlakte
<i>Totaal</i>	<i>160-220</i>		<i>Product</i>	

De geïnterviewde raffinaderijen geven ten aanzien van verwijderen van propaan uit stookgas aan dat stookgas nodig is voor de eigen processen. De fornuizen en branders zouden zijn afgesteld op een bepaald calorisch mengsel. Daarbij geldt wel weer dat sommige bedrijven de hoeveelheid stookgas willen verminderen en dat het dan interessant kan zijn om selectief propaan uit stookgas te verwijderen. De kosten van het verwijderen van propaan uit stookgas zijn onbekend.

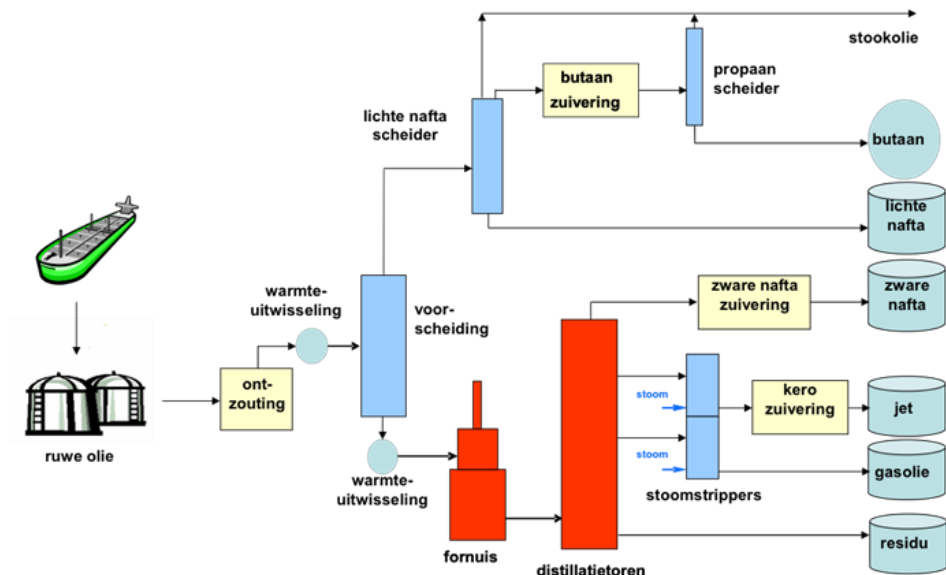
2.2 Neste Oil Netherlands

Neste Oil Netherlands produceert biodiesel (NexBTL) op een nieuwe fabriek op de Maasvlakte. Bij dit productieproces komt een reststroom propaan vrij. De ontwerpcapaciteit van de fabriek is 800 kton/jaar biodiesel (Fluids Processing, Nr. 6-december 2011, p16). Volgens opgave van Neste wordt een reststroom geproduceerd van ca. 60-70 kton/jaar, waarvan ca. 50-55 kton/jaar propaan. Deze stroom wordt nu afgezet aan E.ON, waar het wordt gebruikt als stookgas (Lindqvist, Neste Oil, 2012). Neste heeft de ambitie om per 2014/2015 de stroom te gaan zuiveren, en als product af te zetten.



2.3 Koch HC Partnership

Figuur 2 Proces van de Koch-raffinaderij



Bron: Ruigrok (2009).

De Koch-raffinaderij (Koch HC Partnership BV) heeft een destillatiecapaciteit van 80.000 vaten per dag. Aanvankelijk was het een condensaatplitter maar de raffinaderij is uitgebreid zodat een flexibele mix van lichte ruwe oliën en condensaat verwerkt kan gaan worden (Koch Oil, 2012). Er worden zes producten gemaakt. Butaan, lichte en zware nafta worden afgezet bij de chemische industrie, jet A1 gaat naar de luchtvaart, gasolie gaat naar stookolie en het residu gaat naar de zware stookolie voor de scheepvaart. De herkomst van de grondstoffen is de Noordzee, Rusland en Noord-Afrika, levering geschiedt via kleinere en grotere schepen (Ruigrok, 2009). Het raffinageproces is weergegeven in Figuur 2.

Koch geeft aan (Geloof, 2012):

- Op een jaarvracht van 3 miljoen ton aan ruwe olie en condensaat is er ongeveer 10 kton/jaar aan propaan dat nu als stookgas wordt gebruikt. Het gaat om ongeveer 0,33% van de totale stroom. De Koch-raffinaderij is bij uitstek geschikt voor het verwerken van de lichte crudes en aardgas-condensaat; daar kunnen ze een prijsvoordeel halen ten opzichte van de andere grotere raffinaderijen. De keuze wat Koch inkoop wordt op commerciële gronden gemaakt, maar er is altijd een propaanproductie van circa 10 kton/jaar.
- Wat Koch aan producten maakt hangt sterk af van wat het bedrijf inkoop (lichte olie of condensaat). Een zekere lading zwaardere olie is nodig voor de distillatiebodems. Koch kan wel redelijk plannen wat het maakt: als het een bepaalde lading inkoop, weet het bedrijf al wat het zal gaan produceren.



2.4 Gate LNG-terminal

Aardgas bevat naast methaan diverse (hogere) koolwaterstoffen, waaronder ook ethaan, propaan en butaan, vaak aanwezig in enige volumeprocenten. Voor LNG dat ingevoerd wordt geldt dit ook.

Het is mogelijk om hogere koolwaterstoffen op de locatie van de LNG-liquefactiefabriek in het buitenland af te scheiden en daar te benutten op hun marktwaarde. Vaak ontbreekt het daar echter aan een lokale markt voor ethaan, propaan en butaan, en worden deze gassen dus meegevoerd met de LNG-tanker.

Ook op de locatie van de LNG-hervergasser in Rotterdam kunnen propaan en de andere hogere koolwaterstoffen tijdens het hervergassingsproces afgescheiden worden van het aardgas en zo als aparte producten verkocht worden. Het is niet technisch noodzakelijk, propaan mag ook doorgevoerd worden op het gasnet (zolang aan gasspecificaties zoals de Wobbe-index voldaan blijft worden).

Het gemiddelde aandeel propaan in aangeland LNG kan berekend worden uit de bekende gassamenstellingen van de LNG-liquefactieplants en hun aandeel in de levering aan Europa (Projectbureau Nieuw Gas, 2011). Het gewogen gemiddelde komt uit op een gehalte van 1,6 volume% propaan (C₃H₈). Vopak zelf schat het propaangehalte van LNG dat tot nu toe bij de Gate terminal is ingevoerd op 1,7 volume% (Groensmit, 2012).

Tabel 3 Herkomst vloeibaar aardgas dat in Nederland ingevoerd wordt (zal worden)

Herkomst LNG	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	N ₂
Volume-%						
Abu Dhabi	82,3	12,8	1,6	0,1	0	3,2
Algerije-Arzew	85,6	9,2	2	0,5	0	2,8
Algerije-Bethioua 1	86,3	8,3	2,1	0,7	0	2,7
Algerije-Bethioua-2	90,1	7,6	0,8	0	0	1,4
Algerije-Skikda	91,2	6,9	0,6	0,1	0	1,2
Egypte-Damietta	97,7	1,8	0,2	0,2	0	0,1
Egypte-Idku	95,3	3,1	0,8	0,3	0	0,6
Equatoriaal Guinea	92,8	6,4	0	0	0	0,8
Libië	78,2	12,9	3,6	0,7	0	4,7
Nigeria	89,1	4,5	2,5	1,4	0	2,5
Noorwegen	91,8	5,3	1,2	0,4	0	1,3
Oman	85,1	7,1	2,8	1,6	0	3,4
Qatar	88,2	6,1	2,3	1	0	2,5
Trinidad	96,8	2,7	0,3	0,1	0	0,1

Bron: Projectbureau Nieuw Gas, 2011.

Vopak geeft aan (Groensmit, 2012):

- Het afscheiden van propaan is technisch mogelijk (stripper met vijf schotels).
- Het gehalte aan propaan varieert sterk per levering, tussen de 0 en over de 2%. Gemiddeld komt het op circa 1,7 vol%.
- De hoeveelheid gas die Gate levert aan het net varieert tussen een paar m³ per dag tot meerdere miljoenen m³ per dag. Deze variatie zal tot op zekere hoogte altijd zo blijven.



- Sinds de aardbeving in Japan komt er nauwelijks LNG naar Europa i.v.m. de prijzen van LNG: in Japan ca. 16 \$/GJ, in Europa 6,6 \$/GJ en in de V.S. 2 \$/GJ. Daarom is het aanbod van LNG nu gering, het aantal LNG-tankers dat arriveert is beperkt.
- Pas op middellange termijn (vijf jaar) is te verwachten dat de LNG-markt zich evenwichtiger ontwikkelt en de prijzen van Europa zodanig zijn dat er weer schepen deze kant op komen. De drijvende kracht hierachter is vooral dat er nu nieuwe liquefactiecapaciteit gebouwd wordt, incl. schepen, e.d., en dat deze benut *moet* worden.
- Een juridisch aspect is dat het veranderen van het propaangehalte wel mogelijk moet zijn binnen het kader van Wobbe-verplichtingen aan afnemers en andere dergelijke eisen.

Op basis van de huidige situatie is nog niet te zeggen of het commercieel aantrekkelijk zal zijn om een propaan(/butaan)scheidingsinstallatie te bouwen in combinatie met een propaan-dehydrogenatiefabriek.

Propaan uit LNG t.b.v. de transportsector

Daarnaast geeft Vopak een kansrijke andere route aan waarbij een stroom propaan mogelijk als *restproduct* vrijkomt. Er liggen vergevorderde plannen om LNG-levering als brandstof aan binnenvaart en vrachtwagenmotoren mogelijk te maken van uit de Gate terminal. Met het equiperen van de Gate terminal hiervoor zal een significante investering gemoeid zijn. Het is nog niet duidelijk of er problemen te verwachten zijn met het variërende gehalte aan hogere koolwaterstoffen, dat immers per LNG-tanker zal variëren. Het kan zijn dat de afnemers eisen dat het propaangetal gestabiliseerd wordt. In dat geval is een scheidingsinstallatie voor propaan nodig bij Gate. Hierbij zullen vooral de opslagtanks voor LPG/propaan en ‘gezuiverd LNG’ kostbaar zijn. In dit geval is er een kader waarbij er iemand is die de investering voor scheidingsinstallatie op zich neemt (stripper + in ieder geval één van de opslagtanks).

Inschatting maximale potentiële propaan uit Gate

Gegeven bovenstaande fundamentele onzekerheden en omstandigheden op de LNG-markt, is er nu geen propaan beschikbaar (0 kt). Onder een aantal scenario's is wel te becijferen hoeveel een mogelijke toekomstige levering maximaal zou kunnen zijn.

Scenario 1: Maximaal potentieel uit hervergassen

De Gate terminal heeft momenteel een doorzetcapaciteit van maximaal 12 miljard m³ per jaar, dit is ook de capaciteit die momenteel gecontracteerd is (Gate, 2012). Het is mogelijk de capaciteit van Gate uit te breiden tot 16 miljard m³ per jaar, maar dat is nog niet gedaan. In dit scenario nemen we aan dat de Gate terminal in basislast zal draaien. Indien de terminal 90% van de maximale capaciteit van 12 miljard m³ per jaar zal draaien, en indien 95% van het aanwezige propaan uit het gas gehaald wordt, dan is de hoeveelheid mogelijk beschikbaar propaan 334 kt. Dit is de bovengrens van een verwachting, die de komende vijf jaar in ieder geval niet realistisch is.

Scenario 2: Waarschijnlijk potentieel uit hervergassen

In dit scenario nemen we aan dat de Gate terminal een lagere benutting zal kennen van 30% op jaarbasis. Indien 95% van het aanwezige propaan uit het gas gehaald wordt, dan is de hoeveelheid mogelijk beschikbaar propaan 111 kt. Dit scenario is op middellange termijn waarschijnlijker dan het voorgaande scenario.



Scenario 3: Propan reststroom bij LNG-transportbrandstof

Het consortium dat de levering van LNG als transportbrandstof wil invoeren streeft ernaar dat in 2015 50 binnenvaartschepen, 50 zeeschepen en 500 trucks gebruik maken van deze brandstof, en streeft naar een markt voor LNG-transportbrandstof van 2 tot 3 miljoen ton in 2030 (Schuttevaer, 2012). Uitgaande van deze laatste hoeveelheid, waarbij wordt aangenomen dat propan voor 95% uit de LNG-transportbrandstof gehaald wordt, is er een reststroompropan in de orde van 34-50 kt/jaar. Dit scenario sluit overigens niet uit dat er ook propan gewonnen kan worden uit LNG dat via hervergassen wordt ingevoerd op het gasnet.

2.5 Olieraffinaderijen

Olieraffinaderijen verwerken ruwe olie tot verschillende fracties variërend van zware stookolie tot LPG. Dat gebeurt voor een belangrijk deel door destillatie. De grootste stroom propan komt vrij bij de atmosferische destillatie. Het gaat hierbij om ca. 0,4 massa% van de ruwe olie die per jaar wordt verwerkt.

Deze stroom wordt doorgaans als LPG of als refinery grade propeen (80% propeen, 20% propan) verkocht². Voor de vier raffinaderijen in de Rotterdamse Haven gaat het daarbij om de volgende hoeveelheden:

Tabel 4 Schatting van productstromen propan van raffinaderijen (kton/jaar). Waarden zijn berekend op basis van raffinagecapaciteit en een inschatting (0,4 massa%) van het gemiddelde aandeel propan dat vrij komt vanuit de verwerkte ruwe aardolie

Havengebied	Bedrijf	Productstroom propan (kton/jaar, schatting)
Pernis	Shell	75
Botlek	Esso	35
Europoort	KPE	15
Europoort	BP	65

Daarnaast komen bij andere processen in raffinaderijen propanstromen vrij. De hoeveelheden hiervan hangen af van de lay-out van de raffinaderij. Op basis van de opgave van de hoeveelheid propan die naar inschatting van de bedrijven naar het stookgas gaat is berekend dat de hoeveelheid propan die nu als stookgas verbrand wordt, overeenkomt met ca. 0,5 massa%³ van de ruwe olie die verwerkt wordt per jaar.

Dit betekent dat de hoeveelheid propan, die in de vorm van reststromen verbrand wordt circa 260 kton/jaar bedraagt. In Tabel 5 staat deze schatting uitgewerkt per raffinaderij in de Rotterdamse Haven.

² Volgens CBS-statistieken ligt het totale finale verbruik van LPG in Nederland op 1.700 kton, waarvan 500 kton in vervoer.

³ Berekend op basis van de opgave aan barrels per dag in Tabel 2, inhoud van een barrel van 159 liter, een dichtheid van ruwe olie van 0,9 ton/m³ en een gemiddelde van 330 dagen/jaar aan up-time.



Tabel 5 Schatting van hoeveelheden propaan in stookgassen per raffinaderij. Waarden zijn berekend op basis van raffinagecapaciteit en gemiddelde omvang van propaanproductie t.b.v. stookgas

		Propaan Kton/jaar
Pernis	Shell	100
Botlek	Esso	45
Europoort	KPE	15
Europoort	BP	65

De totale hoeveelheid stookgas bestaat naar schatting voor 30-40% uit propaan.

2.6 Locaties van de bedrijven

Een overzicht van de fysieke locaties van de bedrijven, in het Rotterdamse Haven/industriegebied, die mogelijk propaan zouden kunnen leveren (propaan als reststroom of bijproduct) is weergegeven in Figuur 2.

Figuur 3 geeft door middel van de oppervlakten van de balkjes indicatief het maximale potentieel van levering van propaan uit bijproduct/reststromen.

Figuur 3 Overzicht van de locaties van de bedrijven met mogelijke propaanreststromen



Noot: De getallen en grootte van de balkjes geven de indicatieve maximale potentiëlen.



3 Gebruik van propeen door de Nederlandse chemische industrie

In totaal wordt in de Nederlandse chemie ruim 2.000 kton propeen gebruikt, waarvan ca. 500 kton gebruik door bedrijven die niet zijn verbonden met een naftakraker.

Tabel 6 'Niet-gebonden' gebruik van propeen

	T.b.v. productie van:	Consumptie (kton/jaar)
Nuplex, Organik	Acrylaten	30-35
Momentive	ECH	30-35
Ducor	Polypropeen	160-180
Lyondell	Propeenoxjde	400-450 ⁴
Totaal (kton/jaar)		600-700

In Tabel 6 staat onderaan een totale vraag naar propeen van 600 tot 650 kton per jaar. Hierbij moet opgemerkt worden dat de vraag naar chemical grade propeen lager is: 420-470 kton/jaar. Dit komt omdat chemical grade propeen voor Ducor niet zuiver genoeg is. Zij hebben het zeer zuivere polymer grade nodig. Op zich is dat geen probleem. Zoals blijkt uit het volgende hoofdstuk geven de technologieleveranciers aan dat zij polymer grade propeen op kunnen leveren. Aangezien dit zuiverder is dan de chemical grade kan polymer grade ook ingezet worden bij de andere bedrijven, mits de prijs niet hoger is dan chemical grade propeen.

Een verdere uitwerking wordt gegeven in Bijlage B.

⁴ Raming op basis van productiecapaciteiten PO op Botlek en Maasvlakte, en factor 80% voor omzetting van propeen in PO.





4 Technologie voor omzetting propaan naar propeen

Dehydrogenatie van propaan gericht op propeenproductie is een volwassen commercieel beschikbare technologie. Wereldwijd is de totale geïnstalleerde productiecapaciteit meer dan 3,5 Mton/jaar. De belangrijkste technologie-leveranciers zijn UOP en Lummus.

Tabel 7 Productiecapaciteit van de belangrijkste leveranciers

Bedrijf	UOP/Honeywell	Lummus
Procesnaam	Oleflex	CATOFIN
Aantal gerealiseerde fabrieken	8	4
Mondiaal geïnstalleerde capaciteit in kton/jaar	> 2.300	> 1.400
Inzet van katalysator	Moving bed	Fixed bed

UOP heeft wereldwijd acht fabrieken neergezet. De totaal geïnstalleerde productiecapaciteit voor propeen bedraagt > 2,3 Mton/jaar (UOP). De kleinste fabriek die gebouwd is, heeft een capaciteit van 105 kton/jaar. Vanwege schaalvoordelen hebben alle nieuwe fabrieken een capaciteit van 300 kton/jaar of meer, zie Tabel 8. De bouw van de fabriek van 510 kton/jaar voor Sibur, ligt volgens de nieuwssite van de eigenaar op schema⁵.

Tabel 8 Oleflex propaan-dehydrogenatieplants, gerealiseerde en in ontwikkeling zijnde projecten

Eigenaar en land	Capaciteit kton/jaar	Bouwjaar	Status
PTT Chem Thailand	105	1990	On-Stream
Hyosung Korea	165	1991	On-Stream
TKI Korea	250	1997	On-Stream
MMSB #2 Malaysia	300	2001	On-Stream
BSP Spain	350	2003	On-Stream
NATPET Saudi Arabia	400	2008	On-Stream
Al-Waha Saudi Arabia	460	2009	On-Stream
HMC Thailand	300	2010	On-Stream
Undisclosed	455	Exp. 2014	FEED
Sibur Russia	510	Exp. 2012	EPC
Takreer Abu Dhabi	500	Exp. 2013	FEED
ZJLPC China	450	Exp. 2013	PDP
Borouge, Abu Dhabi	750	Exp. 2015	PDP
JSHL China	510	Exp. 2014	PDP
Undisclosed	660	Exp. 2014	PDP

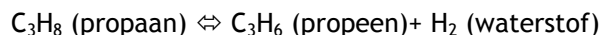
Bron: UOP.

⁵ http://sibur.com/press_center/projects/12546/



4.1 Procesbeschrijving

De chemische reactie die de dehydrogenatie van propaan beschrijft is de volgende evenwichtsreactie:



Omdat het een evenwichtsreactie is, is het niet mogelijk met de reactie zuiver propaan te maken. Er zal altijd een gedeelte aan on-gereageerd propaan over blijven. De reactie is endotherm. Dit wil zeggen dat er energie toegevoegd moet worden om de reactie te laten plaatsvinden. Om de selectiviteit voor propaan te verhogen wordt een katalysator toegevoegd.

Hierdoor bestaat het propaan-dehydrogenatieproces uit drie verschillende soorten processen:

1. Reactor(en).
2. Opwerking/zuivering van de productstroom.
3. Regeneratie van de katalysator.

De verschillen tussen UOP's Oleflex-proces en Lummus's CATOFIN-proces bestaan uit de manier waarop de katalysator ingezet wordt (fixed bed of niet) en de daarmee samenhangende manier van regeneratie van de katalysator. In beide processen is de katalysatorregeneratie een continue proces. Hierdoor is in beide gevallen de operatie van de reactoren en de katalysatorreactie met elkaar verbonden.

Hieronder volgt een procesbeschrijving op basis van UOP's Oleflex-proces. Daarna wordt beschreven hoe het CATOFIN-proces eruit ziet.

4.1.1 UOP's Oleflex-proces

De propaanvoedingsstroom aangevuld met de teruggewonnen on-gereageerde propaan uit de opwerkingssectie wordt in de depropanizer⁶ ontdaan van zwaardere fracties en gevoed aan de Oleflex-reactorsectie.

De Oleflex-reactorsectie is in het overzichtsplaatje van Figuur 4 aangeduid met een 'blue box' met daarop Oleflex. Zoals blijkt uit de uitvergroting van de Oleflex 'blue box', bestaat deze sectie uit vier zogenoemde 'radial flow-reactors' met heaters, een warmtewisselaar en een koelsectie. De warmtewisselaar verwarmt de inkomende propaanstroom voor. Daarna wordt deze door de eerste heater op reactietemperatuur gebracht. Omdat de reactie endotherm is, zijn er heaters tussen de reactoren nodig om het reactiemengsel op temperatuur te houden.

De reactie vindt plaats met behulp van een op platinumgebaseerde katalysator die continue geregenereerd wordt in de continue catalyst recycle (CCR)-unit door het verbranden van coke-afzettingen.

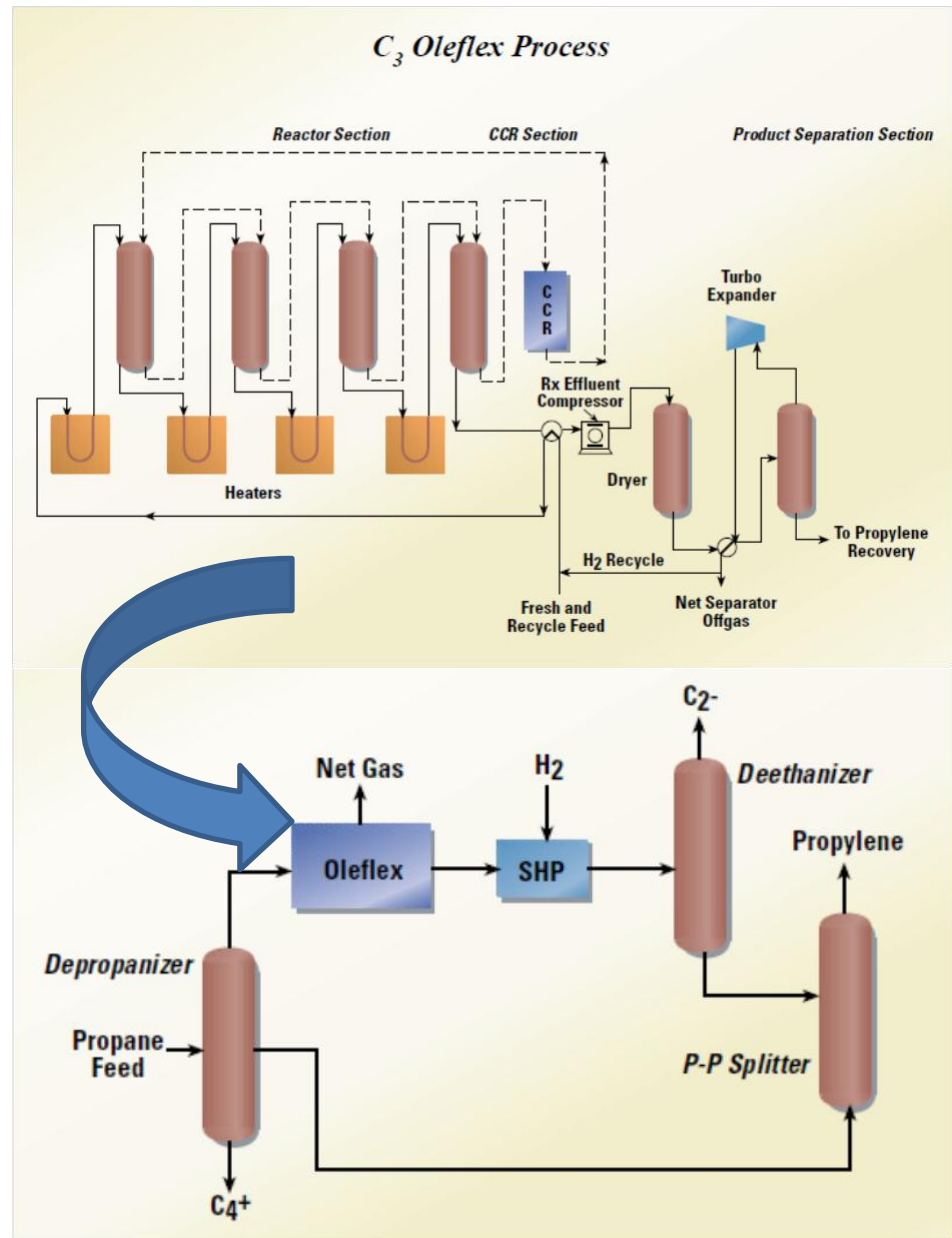
De huidige zogenoemde DeH-16-katalysator is geïntroduceerd in 2008, en vertegenwoordigt de zesde generatie katalysator.

De koelsectie is nodig om de productstroom na het passeren van de laatste radial flow-reactor te koelen, comprimeren en drogen. Daarna wordt de lichtste fractie verwijderd (85-93% zuiver H₂).

⁶ De naam depropanizer lijkt vreemd in deze context omdat het juist om propaan gaat, maar destillatiekolommen worden vernoemd naar de fractie die boven uit de kolom verwijderd wordt, in dit geval propaan.



Figuur 4 Stroomschema UOP's Oleflex-proces voor propaan-dehydrogenatie



Bron: UOP Oleflex™ Process for Propylene Production
Propane dehydrogenation (www.uop.com)

Opwerking/zuivering van de productstroom

De opwerking/zuivering van de productstroom bestaat uit de volgende processtappen:

- Hüls selectieve hydrogenatieproces (SHP) voor omzetting van etheen en diolefines tot buteen, propen en ethaan. Hiervoor is toevoeging van zuivere waterstof noodzakelijk.
- Ethaan destillatie (de-ethanizer) om ethaan af te scheiden.
- Propaan-propreensplitter waarmee (volgens de fabrikant) voldoende zuiver propen voor polypropyleenproductie geproduceerd wordt.
- De resterende stroom wordt gemengd met de voedingsstroom die naast propaan ook kleine hoeveelheden ethaan en butaan kan bevatten.



Uit de resulterende stroom wordt propaan gescheiden van de zwaardere fractie door een depropanizer. Propaan dat nu slechts vervuild is met kleine hoeveelheden ethaan wordt naar de Oleflex-unit gezonden.

In 2009 werd voor een plant met een capaciteit van 350 kton/jaar het volgende aangegeven (Plantas Quimicas, 2009):

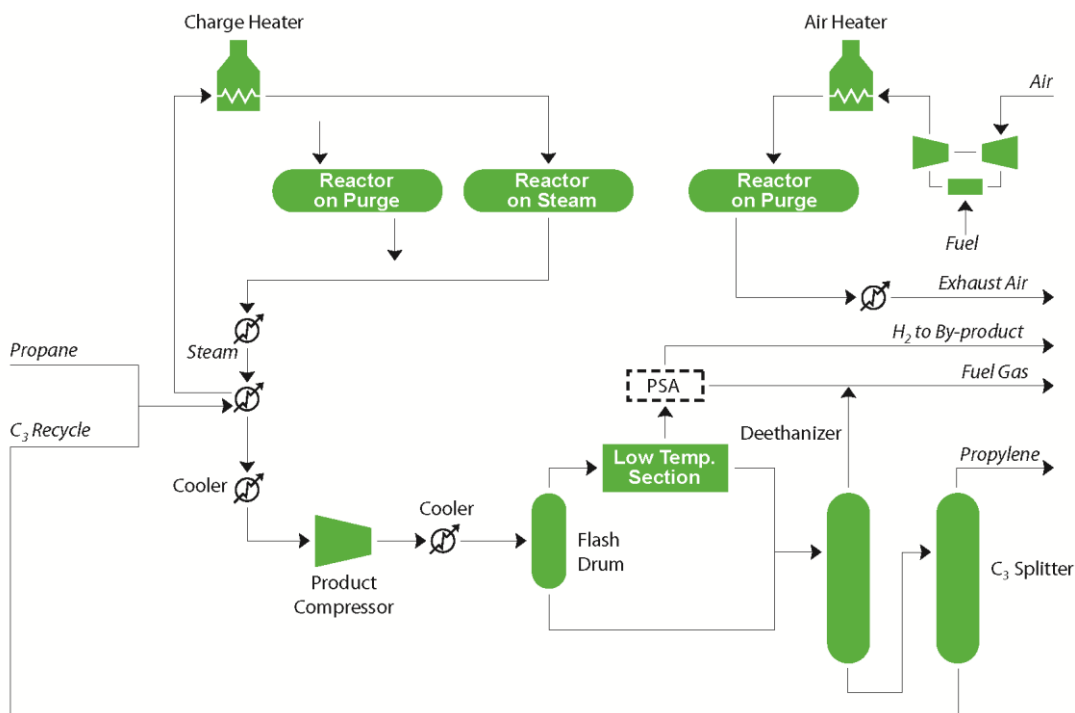
- De propeenopbrengst is ca. 85 massa% van propaan.
- Op iedere 100 kton propeen wordt 4 kton waterstof geproduceerd.
- De kosten van chemicaliën en katalysator bedragen 14 Dollar per ton product.
- De netto behoefte aan water en elektriciteit is respectievelijk 50 m³ koelwater en 200 kWh elektriciteit per ton propeen.
- In de warmtebehoefte van het proces wordt voorzien door het stookgas. Per ton geproduceerd propeen, blijft ca. 2,5 GJ stookgas over. Deze wordt verkocht aan andere plants.

Met behulp van een WKK-unit zou dus ook de eigen elektriciteitsbehoefte opgewekt kunnen worden, met een elektrisch rendement van 30%.⁷

4.1.2 Lummus CATOFIN-proces

De propaanvoedingsstroom aangevuld met de teruggewonnen on-gereageerde propaan uit de opwerkingssectie wordt in de depropanizer⁸ ontdaan van zwaardere fracties en gevoed aan de reactorsectie.

Figuur 5 Stroomschema CATOFIN® Dehydrogenationproces voor propaan-dehydrogenatie



Bron: www.lummus.cbi.com.

⁷ UOP benadrukt dat dit voor de situatie van 2009 gangbare getallen zijn, maar dat het proces inmiddels verbeterd is. Echter de precieze verbetering wordt alleen onder voorwaarden van strikte vertrouwelijkheid gecommuniceerd en kan dus niet meegenomen worden in deze studie.

⁸ De naam depropanizer lijkt vreemd in deze context omdat het juist om propaan gaat, echter boilers worden vernoemd naar de fractie die boven uit de boiler verwijderd wordt, in dit geval propaan.



Reactorsectie en regeneratie van de katalysator

De CATOFIN-reactorsectie bestaat een warmtewisselaar, een heater, twee fixed bed-reactoren, één 'on purge' en één 'on steam' en een koelsectie. De warmtewisselaar verwarmt de inkomende propaanstroom voor, waarna deze door de heater op reactietemperatuur gebracht wordt.

In de 'on steam' reactor wordt propaan gedeeltelijk omgezet naar propene. Na het verlaten van de reactor wordt het productmengsel met daarin het ongereageerde propaan afgekoeld, gecomprimeerd en gedroogd. In deze lage temperatuursectie wordt de lichtere fractie afgescheiden. Door een pressure swing absorber (PSA) kan hieruit de waterstof teruggewonnen worden. Tegelijkertijd wordt de katalysator in de 'on purge'-reactor geregenereerd, door deze te verhitten totdat alle eventuele coke-afzettingen weggebrand worden, zodat daarna de katalysator weer klaar is voor een nieuwe 'on steam'-fase. De cyclische operatie en regeneratie van de reactoren verloopt volledig computergestuurd.

Tabel 9 Kenmerken van het Lummus Catofin-proces

Process Features	
High per pass conversion (48-53%)	
The selectivity of propane to propylene is greater than 86 mol%	
Single train capability up to 650,000 MTA of propylene	
Fixed bed reactors	

Typical Feedstocks	Mol
Propane	95% min
Ethane	2,5% max
Butane +	2,5% max
Sulfur	10 ppm max (massa basis)

Typical Products	Mol
Propylene	> 99,5% ⁹
Propane	< 0,5%
Ethylene + Ethane	< 100 ppm
MAPD	< 10 ppm
Carbon Oxides	< 5 ppm

⁹ In de meeste gevallen wordt propene uit dehydrogenatie van propaan ingezet voor de productie van polypropyleen waarvoor een zuiverheid van 99,95% vereist is.





5 Eerste aanzet voor business case

Om de haalbaarheid van een propaan-dehydrogenatieplant in de Rotterdamse Haven concreet te maken beschrijven we hieronder een mogelijke aanpak, de business case. Deze werken we in de volgende hoofdstukken uit in termen van kosten en baten (financieel en CO₂-reductie) en risico's.

De achterliggende informatie voor deze case komt uit de gesprekken met betrokken partijen, maar de verantwoordelijkheid voor de business case ligt bij CE Delft.

De business case gaat in op de volgende aspecten:

- capaciteit en opzet van de dehydrogenatieplant;
- locatie;
- leveranciers en afnemers;
- logistiek, aansluiting op pijpleidingen.

5.1 Capaciteit en opzet van de dehydrogenatieplant

We gaan uit van een propeenproductiecapaciteit van 350 kton/jaar. Gezien de omvang van de geplande dehydrogenatieplants is dit een relatief kleine plant, zie Tabel 8 in Hoofdstuk 4. Aangezien voldoende toelevering van propaan in dit stadium kritisch lijkt te zijn, kiezen we niet voor een grotere fabriek. Gezien het belang van schaalgrootte voor de kosten van propeen kunnen we ook niet voor een kleinere fabriek kiezen. Mocht een grotere toevoer in de toekomst gegarandeerd lijken is dit waarschijnlijk aantrekkelijker.

De opzet van het proces kan zowel het CATOFIN-proces als het Oleflex-proces zijn. Dat maakt in dit stadium nog niet uit.

Op basis van de gegevens gerapporteerd over het Oleflex-proces in Hoofdstuk 4 betekent de keuze voor een 350 kton/jaar plant het volgende:

- benodigde voedingsstroom 430-450 kton/jaar bestaande uit minimaal 95 m% propaan, maximaal 2m% ethaan en de rest zwaardere fracties;
- de productstroom bestaat voor 350 kton uit 'polymer grade' propeen en 14 kton waterstof en de rest is stookgas.

Uitgaande van de opgave aan utilities in Hoofdstuk 4 en een up-time van 350 dagen per jaar (24/7) komt dit neer op de volgende hoeveelheden:

Tabel 10 Proces-specificatie van de 'business case'

	Per ton propeen	Per 350 kton propeen	Benodigd ¹⁰ vermogen
Elektriciteit	200 kWh	252 TJ	8,3 MW
Koelwater	50 m ³	17,5 miljoen m ³	0,58 m ³ /s
Netto stookgas-productie	2,5 GJ (verkoop)	0,78 PJ (verkoop)	30 MW (verkoop)
Katalysator en chemicaliënverbruik	\$ 14	\$ 4,9 miljoen	\$ 0,16/s

¹⁰ Bij een productie van 1 kton/dag in 24-uurs dienst.



Het stookgas kan voorzien in de elektriciteitsbehoefte van de plant en kan verder verkocht worden aan andere bedrijven.

5.2 Locatie

De belangrijkste potentiële leveranciers van propaan zijn Gate (Maasvlakte), BP (Maasvlakte) en Shell (Pernis) en de belangrijkste afnemers zijn Lyondell Chemie aan de Seinehaven en Ducor aan de Brittaniëhaven, beiden in het Botlek-gebied.

Opties voor de afname zijn:

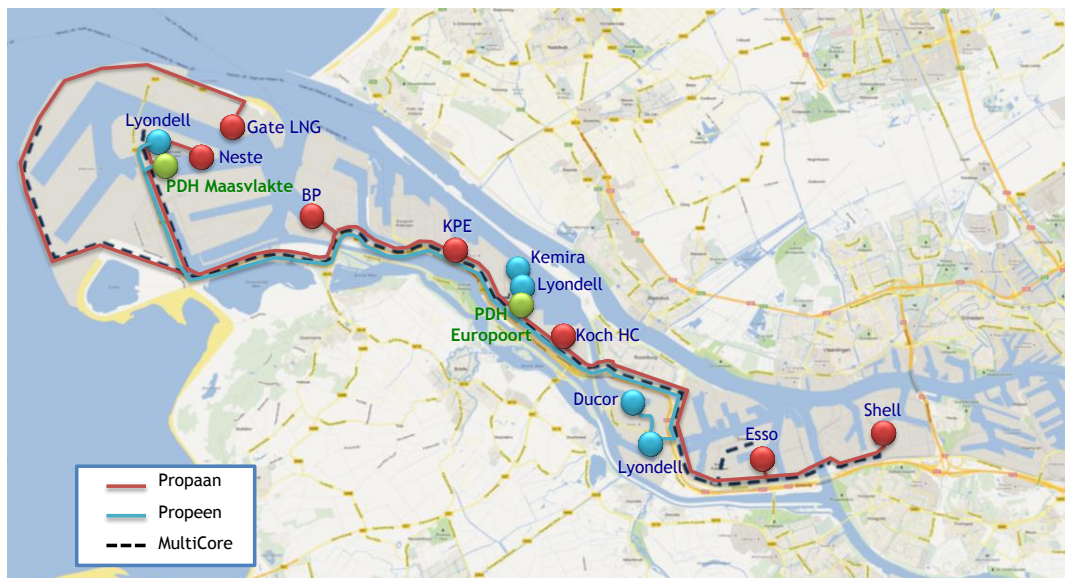
- 100% naar Lyondell Chemie;
- gedeeltelijk naar Lyondell Chemie, gedeeltelijk naar Ducor;
- 100% naar een nieuw te bouwen combinatie van een PDH- en een Polypropreen-fabriek (alleen mogelijk op de Maasvlakte).

Uit onze analyses kwamen twee mogelijke locaties naar voren, beide op een terrein van Lyondell:

1. Lyondell Chemie aan de Donauhaven in de Europoort.
2. Terrein tussen Lyondell Bayer-terrein en het E.ON Benelux-terrein aan de Europahaven op de Maasvlakte.

Op beide locaties is nog ruimte voor een dehydrogenatieplant. Zowel het Lyondell Bayer-terrein als het Lyondell Chemie-terrein zijn met een pijpleiding voor chemical grade propaan verbonden met de Lyondell Chemie-plant in de Botlek. Op het terrein naast het Lyondell Bayer-terrein op de Maasvlakte is nog plaats voor geïntegreerde plant voor propaan-dehydrogenatie en propaan-polymerisatie. De locaties zijn aangegeven in Figuur 6 in relatie tot de locaties van de overige mogelijk betrokken bedrijven.

Figuur 6 Overzicht van de alternatieve vestigingslocaties voor een PDH, pijpleidingen, afstanden, en locaties van bedrijven



5.3 Logistieke aansluiting op pijpleidingen

In de casus gaan we ervan uit dat toelevering van propaanreststromen en aflevering van propeenproduct plaats zal vinden via pijpleidingen. Dit is zowel qua kosten, als qua veiligheids- en milieuaspecten de meest gewenste transportmodaliteit.

5.3.1 Bestaande pijpleidingen

In de Rotterdamse Haven zijn verschillende soorten pijpleidingen beschikbaar voor het vervoer van chemicaliën. Per pijpleiding kan één type verbinding van één kwaliteit vervoerd worden.

Zo kan chemical grade propeen vervoerd worden via het bestaande pijpleidingennet tussen de locaties van Lyondell in de Rotterdamse Haven. Als polymer grade propeen door deze pijpleidingen vervoerd wordt, raakt het waarschijnlijk vervuild waardoor het geen polymer grade propeen meer is. Dit zou dan betekenen dat voor Ducor een andere oplossing gevonden moet worden.

De propeen- en etheenpijpleidingen zijn in handen van private partijen die daarmee hun eigen producten vervoeren. Daarnaast is er het Multicore-netwerk dat bestaat uit een bundel pijpleidingen die beheerd worden door Multicore; een joint venture van het Havenbedrijf en Vopak. Deze pijpleidingen kunnen geleased worden door derde partijen.

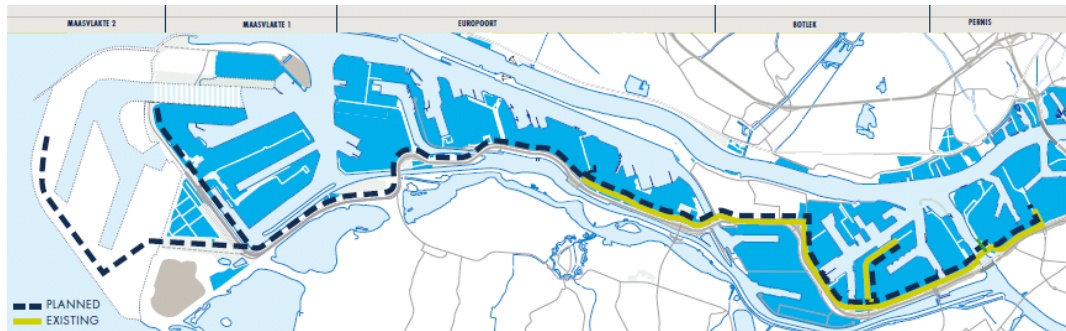
Figuur 7 Etheen- en propeenleidingen



Bron: Port of Rotterdam: Havencijfers 2011.

Zoals Figuur 8 laat zien is er al een flinke capaciteit aan Multicore-leidingen aangelegd en staat er nog een flinke uitbreiding gepland. De uitbreiding is afhankelijk van het vinden van voldoende financiering. De aanleg van pijpleidingen is duur, grofweg kan gerekend worden met een kostenpost van ruwweg 1 miljoen €/km. Voordeel van het Multicore-systeem is dat er voor die prijs meteen vier verschillende stoffen getransporteerd kunnen worden.

Figuur 8 Traject Multicore-pijpleidingsysteem



Bron: Port of Rotterdam: Havencijfers 2011.

5.3.2 Benodigde pijpleidinginfrastructuur

In de onderstaande tabellen (Tabel 11/Tabel 12) staan per locatie de afstanden die door de pijpleidingen overbrugd moeten worden.

Totaal moet er een afstand van respectievelijk 43 en 48 km overbrugd worden door pijpleidingen om de beoogde propaanleveranciers met de propaan-dehydrogenatieplant te verbinden (voor de Maasvlakte-locatie is iets meer nodig dan voor de Europoort-locatie).

Het geproduceerde propeen voor Lyondell kan via de eigen bestaande pijpleidingen vervoerd worden.

Voor polymer grade propeen-leveringen aan Ducor is de meest voor de hand liggende optie om een eigen pijpleiding aan te leggen vanaf de plant naar de Ducor-locatie (respectievelijk 5,5 km tot aan Lyondell Europoort of 23 km tot aan Lyondell Maasvlakte). Een verdergaande optie zou zijn om tegelijk met de dehydrogenatieplant een daarmee geïntegreerde polypropeenfabriek te bouwen. In dat laatste geval is de te overbruggen afstand te verwaarlozen.

Tabel 11 Benodigde leidingen bij PDH-fabriek op de Maasvlakte (bij locatie LyondellBasell)

Traject	Doelstelling	Afstand (km)
Shell, Esso, Koch, Kuwait, BP -> LyondellBasell (Maasvlakte)	Propaanlevering	33 km
Gate -> Lyondell (Maasvlakte)	Propaanlevering	20 km
Neste -> Lyondell (Maasvlakte)	Propaanlevering/waterstofafname	<1 km
Lyondell Maasvlakte -> Lyondell Chemie Botlek	Propeenlevering via bestaande eigen pijpleiding	24 km
Lyondell Maasvlakte -> Ducor Botlek	Propeen (polymer grade)-levering	23 km
Lyondell Maasvlakte -> PDH fabriek Maasvlakte	Propeen (polymer grade)-levering	<1 km

Tabel 12 Benodigde leidingen voor PDH-fabriek in de Europoort (bij locatie Lyondell Europoort)

Traject	Doelstelling	Afstand (km)
Shell, Esso, Koch -> Lyondell Europoort	Propanlevering	15-16 km
Gate, BP, Kuwait -> Lyondell Europoort	Propanlevering	27-28km
Lyondell Europoort -> Kemira	Waterstoflevering	<1 km
Lyondell Europoort -> Lyondell Chemie Botlek	Propeenlevering via bestaande eigen pijpleiding	6-7 km
Lyondell Europoort -> Ducor Botlek	Propeen (polymer grade)-levering	5-6 km
Lyondell - Europoort -> Lyondell Maasvlakte	Propeenlevering via bestaande eigen pijpleiding	Ca. 15-16 km

Op dit moment liggen Lyondell Chemie (Europoort), Ducor en Shell Pernis dicht bij een bestaande Multicore-leiding. Stel dat er op die leiding nog ruimte is voor transport van propaan en polymer grade propeen, dan moet er respectievelijk 28 en 33 kilometer overbrugd worden, waarvan 21-26 km samenvalt met de geplande uitbreiding van het Multicore-leidingnetwerk.

Het is nog niet duidelijk of de omvang van stromen propaan en propeen voldoende justificatie zal bieden voor aanleg of uitbreiding van het leidingnetwerk.

Naast de te overbruggen afstanden van toelevering van propaan en afname van propeen, is er waarschijnlijk op de bedrijfsterreinen zelf nog 1-2 kilometer aan leidingnetwerk nodig om de gewenste aansluiting met de processen waaruit propaan vrijkomt of waarvoor propeen nodig is mogelijk te maken. Verder is er nog enige kilometers leidingnetwerk nodig om de vrijkomende waterstof te kunnen leveren aan bedrijven die dat nuttig kunnen inzetten. Hierbij kan gedacht worden aan Neste op de Maasvlakte en Kemira in de Europoort.

Figuur 6 laat de twee mogelijke locaties voor een dehydrogeneringsfabriek zien met de locaties van de verschillende mogelijk betrokken bedrijven.

5.4 Conclusies

Realisatie van de geplande Multicore-pijpleidingen lijkt in dit stadium de meest aantrekkelijke logistieke oplossing voor de toelevering van propaan. De locatie in de Europoort heeft het voordeel dat de te overbruggen afstanden gelijkmatiger verdeeld zijn tussen de bedrijven en de afstand voor het leveren aan Ducor Botlek significant korter is.

De locatie Maasvlakte heeft het voordeel dat de afstand van Gate (de naar verwachting grootste leverancier) korter is en er de mogelijkheid is voor een nieuw te bouwen propeenpolymerisatieplant die geïntegreerd wordt met de propaan-dehydrogenatieplant.

Welke locatie hiermee het aantrekkelijkst wordt is sterk afhankelijk van twee factoren:

1. De belangstelling voor een nieuw te bouwen propeen-polymerisatieplant geïntegreerd met een propaan-dehydrogenatieplant op de Maasvlakte.
2. De manier waarop de kosten voor de aanleg van de benodigde pijpleidingen verdeeld kunnen worden over de toeleverende bedrijven.





6 Investerings en economische haalbaarheid

Dit hoofdstuk geeft een raming van de economische aspecten van de voorgestelde fabriek voor omzetting van reststromen propaan in propeen. De ramingen zijn gebaseerd op de in het vorige hoofdstuk beschreven casus. Achtereenvolgens gaan we in op:

- investeringen;
- prijzen van propaan en propeen;
- economisch model;
- beoordeling van rendabiliteit.

De prijzen van propaan en propeen zijn een kritieke factor in de economie. In Hoofdstuk 8 (risico's) gaan we dieper in op de ontwikkeling van deze prijzen.

6.1 Investerings

De investeringskosten zijn een belangrijke parameter voor de rendabiliteit. De gepubliceerde informatie over de acht reeds gebouwde fabrieken met het proces van UOP is beperkt. De volgende bronnen zijn gebruikt:

- de enige PDH-fabriek in Europa (Tarragona Spain), met een capaciteit van 350 kt (opstart 2003) (Chemicals Technology, 2011);
- totale projectkosten Al Waha-complex in Jubail, Saudi-Arabië, omvattende een PDH-fabriek van 460 kt/a met een gekoppelde polypropeenfabriek van 450 kt/a (opstart 2009), Koreaans aannemersconsortium (Islamicfinancenews, 2006);
- totale projectkosten Sibur-complex in Tobolsk, Tyumen, Siberië, omvattende een PDH-fabriek van 510 kt/a met een gekoppelde polypropeenfabriek van 500 kt/a (opstart verwacht 2012/2013), Italiaans aannemersconsortium (Sibur, 2009).

De bronnen omvatten de totale projectkosten, dit is het totaal van alle kosten die middels kapitaal en leningen gefinancierd worden. Het betreft de kosten voor het gehele project inclusief de benodigde infrastructuur.

De verschillende bronnen kunnen herleid worden tot een schatting van investeringskosten voor een 350 kt PDH-fabriek in Rotterdam, dit is in Tabel 13 gedaan.



Tabel 13 Investeringskosten uit een drietal bronnen, herleid naar de business case in Rotterdam

Project	BSP, Tarragona, Spanje	Al Waha, Jubail, Saudi-Arabië	Sibur, Tobolsk, Siberië
Beschrijving project	350 kt PDH-fabriek	460 kt PDH-fabriek 450 kt PP-fabriek	510 kt PDH-fabriek 500 kt PP-fabriek
Totale projectkosten	200 mln. \$	939 mln. \$	1.100 (650+450) mln. €
Jaar kostenopgaaf	1999	2006	2010
Totale projectkosten, huidige prijzen (CEPCI) (mln. €)	241 mln. €	884 mln. €	1.174 mln. €
Projectkosten enkel PDH-fabriek, geschaald naar 350 kt ¹¹	241 mln. €	420 mln. €	513 mln. €
Projectkosten PDH, locatie Rotterdam	241 mln. €	404 mln. €	424 mln. €

In de doorrekening van kosten is gerekend met de Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI, 2012) om de kosten naar 2011 Euro te vertalen. Voor de wisselkoers ten opzichte van de Dollar is de wisselkoers van augustus 2012 gebruikt (1,25 \$/€).

Het is duurder om in Siberië te bouwen i.v.m. de grote transportafstanden en hogere materiaalkosten (o.a. isolatie). Locatiekostenfactoren zijn voor de verschillende regio's bepaald en meegenomen ten behoeve van het bouwen van de fabriek in Rotterdam¹².

De kosteninschatting op basis van Tarragona valt duidelijk lager uit, mogelijk is dit omdat er in dit project op een bestaande petrochemische site gebouwd kon worden, dit biedt voordelen omdat veel voorzieningen voorhanden zijn. Dit voordeel zal mogelijk ook gelden voor een fabriek in het Rotterdamse haven/industriegebied. Uiteraard zijn er ook andere mogelijke verklaringen, bijvoorbeeld een extra voordelig aanbod van de licentie van UOP, of een sterkere stijging van de materiaalkosten dan in de CEPCI opgenomen.

Op basis van het gemiddelde van de verschillende bronnen concluderen we dat een goed uitgangsbetrag voor de investeringskosten (C_{TI}) ongeveer € 340 mln. ($\pm 25\%$) kan zijn. De rendabiliteitsberekeningen zijn uitgevoerd voor deze investeringskosten.

Voor de kosten van het pijpleidingennetwerk ramen we geen expliciete aparte investeringskosten omdat we aannemen dat deze geleased worden.

6.2 Prijzen propaan en propeen

De prijzen van propaan en propeen zijn aan sterke fluctuaties onderhevig. Op een langere termijn volgen ze de olieprijs: propaan is voornamelijk een raffinaderijproduct, propeen vooral een product van naftakrakers. De ontwikkeling van de afgelopen jaren laat zien dat de propaanprijzen sinds 2005 minder sterker meebewegen dan tot dan toe het geval was. De afgelopen drie jaar bewoog de prijs van propaan in Rotterdam zich tussen de 400 en de 1.100 US\$/ton, het afgelopen jaar tussen de 600 en de 1.100 US\$/ton (Argus, 2011, 2012).

¹¹ Gehanteerde schaalfactor: 0,7.

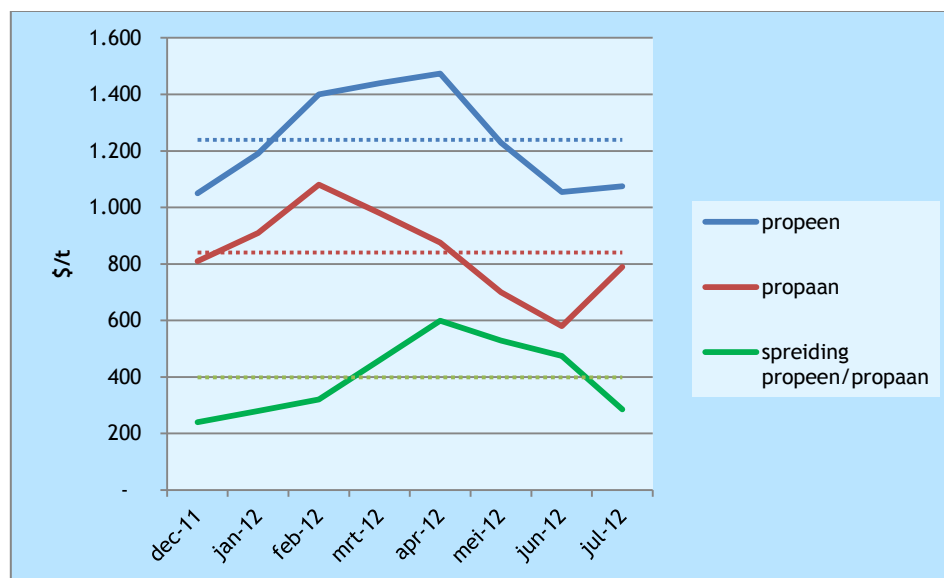
¹² EU = 100, Arabië = 104%, Siberië = 121% (onder aanname van een westers bouwconsortium).



De propaneprijzen kennen ook een grillige dynamiek. Het afgelopen anderhalf jaar heeft de prijs voor propane bewogen tussen de 1.040 en de 1.700 US\$/ton (Platts, 2012, een gemiddelde propaneprijsindex).

Figuur 9 geeft de prijs van propane en propaan van het afgelopen halfjaar en de spreiding hiertussen, welke in de weergegeven periode gemiddeld 400 \$/t bedraagt. Deze parameter is belangrijk met het oog op de rendabiliteit van de dehydrogeneringsfabriek.

Figuur 9 Prijzen propane (Platts 2012), propaan (Argus LPG) en de spreiding (afgelopen halfjaar)



Voor een economische beoordeling van de investering is het niet betrouwbaar om met de huidige prijzen te werken, of de prijzen van het afgelopen jaar, maar is het beter om te werken met langere termijngemiddelden.

De lange termijnuistregels voor de gehanteerde prijzen zijn:

- propaan: $1,15 \times$ olieprijs (Brent) in Euro per ton;
- etheen: $\text{€ } 320 + 1,4 \times$ olieprijs (Brent) in Euro per ton;
- propane: $1,1 \times$ etheenprijs in Euro per ton ($\text{€ } 448 + 1,54 \times$ olieprijs).

Met een olieprijs van 90 \$/ton en de huidige wisselkoers van \$ 1,35 geeft dit een propaanprijs van 760 \$/t en een propaneprijs van 1.490 \$/t (spreiding 730 \$/t).

Deze prijzen zijn lange termijngemiddelden op basis van historische trends. Kernpunt van de risicoanalyse in Paragraaf 8.4 is dat de prijzen voor propaan en propane grillig blijken en dat er gerede kans bestaat dat de propaneprijs lager zal zijn dan de piek van februari-april 2011 (1.700 \$/t). Echter het is ook goed mogelijk dat de propaneprijs op niveau blijft terwijl de propaanprijs in verhouding tot de olieprijs afneemt.



6.3 Economisch model

Voor de opbouw van de kosten van de fabriek is een generieke kostenmethodiek toegepast (Coulson and Richardson's Chemical Engineering, vol. 6, 2nd ed., 1996, zoals vermeld in Moulijn, e.a. 2005). Voor de casus (investeringskosten 340 miljoen € en de marktprijzen op basis van de bovenstaande vuistregel) is het kostenmodel in Tabel 14 weergegeven.

Tabel 14 Economisch kostenmodel propaan-dehydrogenatiefabriek met rentabiliteitsparameters

Kostencomponent	Literatuur	Gekozen	Grootte kostenpost (mln. €/j)	Total mln. €	
A Vaste kosten					
1	Onderhoud	5-10% of C_{TI}	7%	24	
2	Personeel			6	
3	Laboratoriumkosten	20% from (2)	20%	1,2	
4	Toezicht	20% from (2)	20%	1,2	
5	Plant overheads	50% from (2)	50%	3	
6	Afschrijving	10% of C_{TI}	10%	34	
7	Verzekering	1% of C_{TI}	1%	3,4	
8	Lokale belastingen	2% of C_{TI}	2%	7	
9	Royalties	1% of C_{TI}	1%	3,4	
B Variabele kosten					
10	Grondstoffen			208	
11	Overige materialen	10% of (1)	10%	0,6	
12	Utilities			4,2	
13	Transportkosten		-	P.m.	
Operationele kosten				(A+B)	295
Operationele kosten per ton propeen				(A+B)/productie	938 €/ton
Bruto omzet					368
Brutowinst					72
Belasting					25%
Nettowinst					54
ROI, pre-tax/after tax					21%/16%
Terugverdientijd					6,3 jaar

De belangrijkste aannames in het kostenmodel zijn:

- Per ton propeen is 1,16 ton aan propaan nodig (ICIS, 2010). Propaan wordt voor 86% omgezet in propeen, voor 4% in waterstof, en 10% in stookgas.
- De benuttingsfactor is 90%.
- De productie van stookgas overstijgt de eigen behoefte, de rest wordt verkocht op calorische waarde. Opbrengsten uit verkoop van de producten bedragen: propeen (315 kt/j) 347 mln. €, waterstof (15 kt/j) 15 mln. € en stookgas (780 GJ/j) 5 mln. €.
- Energieprijzen: elektriciteit 6,6 €/MWh; aardgas 6,5 €/GJ; ruwe olie 90 \$/barrel.
- Propeen- en propaanprijzen berekend met de vuistregels uit Paragraaf 6.2.
- De personeelskosten zijn begroot op 100 FTE op basis van het aantal permanente arbeidsplaatsen in Tarragona¹³, met arbeidskosten van 60 k€/FTE.

¹³ <http://www.basfsonatrachpropanchem.com/en/quienes.php>.



- Kosten voor raw materials en utilities uitgesplitst naar katalysator (3,3 mln. €), propaan (205 mln. €), elektriciteit (4 mln. €). Overige generieke kostenparameters (posten 3 t/m 9 en 11) zijn berekend met het percentage aangegeven in Tabel 14.

6.4 Beoordeling rendabiliteit

Het kostenmodel levert de volgende conclusies:

- Uitgaande van investeringskosten van 340 miljoen Euro, een olieprijs van 90 \$/ton, propeen/propaanprijzen volgens de vuistregels uit Paragraaf 6.2 en overige modelparameters zoals gedetailleerd in Paragraaf 6.3, bedraagt de brutowinst 72 miljoen Euro. Dit zorgt voor een pre-tax return on investment (ROI) van ca. 21%.
- De terugverdientijd, gedefinieerd als de totale investeringskosten gedeeld door de nettowinst, bedraagt in dit geval 6,3 jaar. Dit betekent dat de fabriek rendabel zou zijn.

Omdat het model een aantal belangrijke parameters bevat, is het mogelijk een gevoeligheidsanalyse voor de invoerparameters te doen. De resultaten zijn hieronder weergegeven.

Tabel 15 Gevoeligheid van de nettowinst afhankelijk van aanpassing van modelparameters

Aanpassing tov. gekozen waarden	Gevoeligheid energieprijzen (elektriciteit, aardgas, ruwe olie)	Gevoeligheid propeenprijs (bij constant gehouden propaanprijs)	Gevoeligheid investeringskosten
- 30%	43,5	-23,8	70,4
- 20%	47,1	2,2	65
- 10%	50,7	28,3	59,7
0	54,3	54,3	54,3
+10%	57,9	80,4	49
+20%	61,5	106,4	46,6
+30%	65,1	132,5	38,3

Op basis van de gevoeligheidsanalyse concluderen we dat het rentabiliteitsmodel sterk gevoelig is voor de gehanteerde propeenprijs. Als deze 10% lager is dan de in het model gehanteerde waarde, terwijl de propaanprijs en andere parameters onveranderd blijven, dan is de nettowinst bijna gehalveerd. De eenvoudige terugverdientijd is dan niet meer zes maar twaalf jaar.

Extra strategisch onderzoek naar de lange termijnimplicaties van ontwikkelingen in de propeen/olefinenmarkt is dus aanbevelenswaardig als vervolgstap op dit onderzoek.





7 Impact op energiebesparing en CO₂-emissiereductie

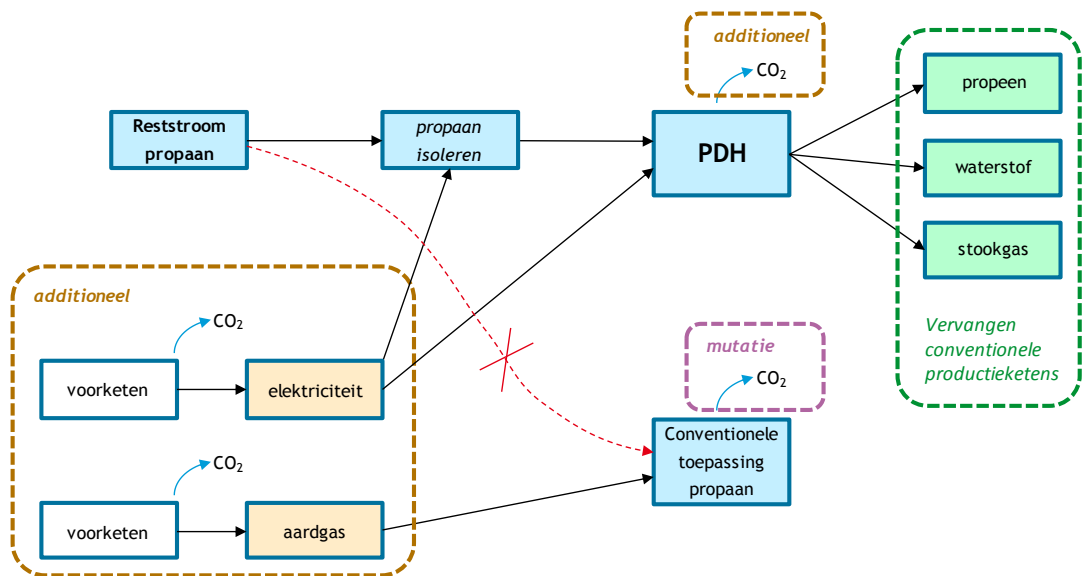
Uitgaande van de casus is de impact berekend op energiegebruik en CO₂-emissies voor de gehele keten. De berekening van de meest relevante posten geeft een indicatie van de te verwachten milieuwinst.

De milieuwinst van de productie van propaan via dehydrogenatie ontstaat door uitgespaarde conventionele propaan en hoogwaardiger (milieu-effectievere) inzet van propaan.

7.1 Referentie en afbakening

Om de besparingen in de keten in kaart te brengen moet gekeken worden wat verandert in het 'systeem' door de toevoeging van een PDH-fabriek. Figuur 10 geeft hiervan een overzicht.

Figuur 10 Afbakening berekening milieueffecten



Propaanreststromen worden gebruikt voor productie van propaan, waterstof en stookgas, waardoor de conventionele productie wordt uitgespaard. De referentie voor PDH-propaan is de conventionele productieroute van propaan uit nafta in een naftakraker. De referentie voor co-product waterstof is de referentie productie als bijproduct van een naftakraker en die voor stookgas is aardgas. Voor deze vervangen productie worden de cradle-to-gate milieu-impacts meegenomen.



De PDH heeft een eigen energiegebruik: elektriciteit (dit wordt ingekocht) en eigen restgas (procesemissies van stookgas). Ook meegenomen wordt een schatting van het elektriciteitsgebruik gemoeid met het vrijmaken van propaan.

Het propaan dat benut wordt als grondstof voor de PDH-fabriek heeft in de huidige situatie een nuttige toepassing: bij de raffinaderijen wordt het als stookgas gebruikt, en propaan aanwezig in LNG (geleverd door de Gate LNG-terminal) wordt nu niet afgescheiden maar geleverd op het aardgasnet, waar het veelal ook wordt benut als brandstof. Door afscheiding van deze (rest)stromen propaan zal een andere brandstof worden ingezet, vermoedelijk aardgas. De milieueffecten hiervan (ketenemissies en andere CO₂-emissies) zijn belangrijk. De ketenemissies omvatten energiegebruik en CO₂-emissies van de aardgaswinning. Daarnaast heeft aardgas lagere CO₂-emissies per eenheid van verbrandingswarmte in vergelijking met propaan, dus de milieupreformance van de conventionele fabrieken (raffinaderijen e.d.) zal verbeteren.

Omdat er in de hoeveelheid of herkomst van propaan niets verandert, het gaat om andere toepassing, valt de milieu-impact van de productie van propaan buiten deze beschouwing. De hier berekende milieu-impact is dan ook geen volledige *'footprint'* van de producten.

7.2 Besparingen op primair energiegebruik en CO₂-emissies

De resultaten voor de berekening, de extra inzet en besparingen op energiegebruik en de gevolgen voor CO₂-emissies zijn in Tabel 16 weergegeven.



Tabel 16 Besparingen en extra inzetten energie en CO₂

	Hoeveelheid (kt/j)	Cumulatieve energie (GJ/t)	Broeikasemissies (kg CO ₂ eq/t)	Primaire energie (PJ/j)	CO ₂ -effecten (kton CO ₂ .eq./j)	Berekeningswijze/ brongegevens
Vervangen productie						
Vervangen conventioneel propeen	315	73,3	1.593	-23,1	-502	Ecoinvent (ketenemissies)
Vervangen conventioneel waterstof	15	72,5	1.696	-1.1	-25	Ecoinvent (ketenemissies)
Vervangen conventioneel aardgas	21	43,4	115	-0,9	-2,4	Ecoinvent (ketenemissies)
Additioneel						
Inkoop elektriciteit	142 GWh/j	7 GJp/MWh	460 kgCO ₂ -eq./MWh	1.0	65	Uniforme maatlat industrie
Procesemissies	22	0	3.015	0	65	Uniforme maatlat industrie
Inkoop brandstof door huidige propaangebruikers (vervanging door aardgas)	435	43	115	18,8	50	Ecoinvent (ketenemissies)
Mutaties						
Vershil CO ₂ -emissies huidige propaangebruikers (bij vervanging door aardgas)					-169	Uniforme maatlat industrie
Netto milieusaldo				-5,2	-518	

Het netto milieusaldo in de productieketen is positief: voor de casus van een propeen-dehydrogenatie van 350 kt met jaarproductie van 315 kton propeen, is de besparing in energiegebruik en CO₂-emissies:

- 5,2 PJ energie;
- 518 kton CO₂-emissies.

De conclusie is dat de PDH-fabriek in de keten forse winsten aan energie-efficiency kan opleveren en forse besparingen aan CO₂-emissies.

Er zijn geen gedetailleerde studies gemaakt van aspecten in het systeem die niet zijn weergegeven, zoals elektriciteitsgebruik pompen of compressoren, koelwatervraag en andere kleinere posten. Dat dit niet in kaart gebracht is, betekent niet dat dit ook niet belangrijk zou kunnen zijn. Deze analyse richt zich op de hoofdlijnen, in een eventuele vervolgstudie is het aanbevelenswaardig ook deze aspecten gedetailleerd uit te zoeken.



8 Onzekere factoren en risico's

Aan fabricage van propeen uit propaanreststromen zullen bepaalde onzekerheden en risico's verbonden zijn. De belangrijkste zijn:

- continuïteit aanvoer reststromen propaan;
- kosten voor 'afkoppeling'/'zuivering' reststromen propaan;
- versterking onderlinge afhankelijkheid productieprocessen en bedrijven;
- prijsontwikkeling van propaan en propeen.

Deze onzekerheden lichten we in de navolgende paragrafen nader toe. In het geval van de kostprijsontwikkeling geldt dat ontwikkelingen de kansen zowel positief als negatief kunnen beïnvloeden.

8.1 Continuïteit processen & aanvoer reststromen

De aanwezigheid van reststromen propaan en stromen propaan als bijproduct van productieprocessen, zoals bepaald in Hoofdstuk 2, is niet zozeer onzeker, maar wel is een onzekere factor hoeveel van dit propaan beschikbaar zou kunnen worden gemaakt voor een dehydrogenatieplant, en of de toeleverende partijen de benodigde investeringen ook rendabel kunnen doen.

- **Gate LNG-terminal:** aanwezigheid van propaan in LNG is zeker, maar het is vooral zeer onzeker hoe de doorzet zich de komende jaren gaat ontwikkelen. Vandaar de bandbreedte in de vermelde stroom. Voor de becijferde transportbrandstofcase is daarnaast onzeker welk percentage propaan uit de brandstof verwijderd zal worden.
- **Neste:** Aanwezigheid van stromen propaan is redelijk zeker, onzeker wat de precieze omvang en welk deel vrijgemaakt kan worden, precieze productie ook niet bekend, vandaar de aangegeven bandbreedte.
- **Koch:** Genoemde omvang is redelijk zeker, het is te verwachten dat er afhankelijk van de ingekochte crudes en condensaten ook meer propaan te leveren zou kunnen zijn.
- **Andere raffinaderijen (BP, KPE, Shell, Esso):** Genoemde reststromen propaan die nu als stookgas ingezet worden zijn inschattingen van de hoeveelheid die nu verbrand wordt. Dat zegt niet dat dat potentieel beschikbaar is voor levering aan een dehydrogenatieplant. De zekerheid van de te leveren propaanreststromen door de raffinaderijen is zeer onzeker. De reststromen zijn niet voor niets nog niet aangeboden op de spotmarkt voor LPG; de raffinaderijen hebben zelf ook energie nodig om te draaien, maar zelfs als daarop bezuinigd kan worden is het geheel onduidelijk hoeveel het gaat kosten om propaan uit deze reststroom beschikbaar te maken.
- **Productstromen (raffinaderijen, LyondellBasel):** De verwachting is dat de productstromen vrij stabiel zijn.

Risico's op een onverwachtse onderbreking van de levering of afname kunnen ondervangen worden door middel van tankopslag (bollen). Dit soort opslag kan vermoedelijk niet op een schaal gebouwd worden die eventuele seizoensinvloeden (bij bijvoorbeeld seizoensafhankelijk bedrijf van de LNG-terminal) rendabel kunnen ondervangen.



8.2 Kosten voor 'afkoppeling'/'zuivering' reststromen propaan

Geïnterviewde raffinaderijen geven verschillende signalen over de haalbaarheid van het verwijderen van propaan uit stookgas. Enerzijds wordt aangegeven dat het stookgas nodig is voor de eigen processen en de fornuizen en branders zouden zijn afgesteld op een bepaald calorisch mengsel. Anderzijds zijn er bedrijven die aangeven dat ze voor de komende jaren toch een bezuinigingsdoelstelling hebben op het verbruik van stookgas ten behoeve van de eigen procesvoering. Deze bedrijven geven aan dat het dan misschien interessant zou kunnen zijn om selectief de propaan uit het stookgas te verwijderen ten behoeve van de dehydrogenatieplant. In dit stadium is op grond van de beschikbare informatie nog geen inschatting te geven van de kosten van het verwijderen van propaan uit stookgas.

8.3 Samenwerking tussen de partijen (toeleverancier reststroom, gebruiker)

Een samenwerking van een aantal partijen om de business case te verwezenlijken zal ertoe leiden dat de onderlinge afhankelijkheid groter wordt. Het kan zijn dat de bedrijfsvoering afgestemd moet worden met de PDH-fabriek, bijvoorbeeld het samenwerken bij de planning van onderhoudstops.

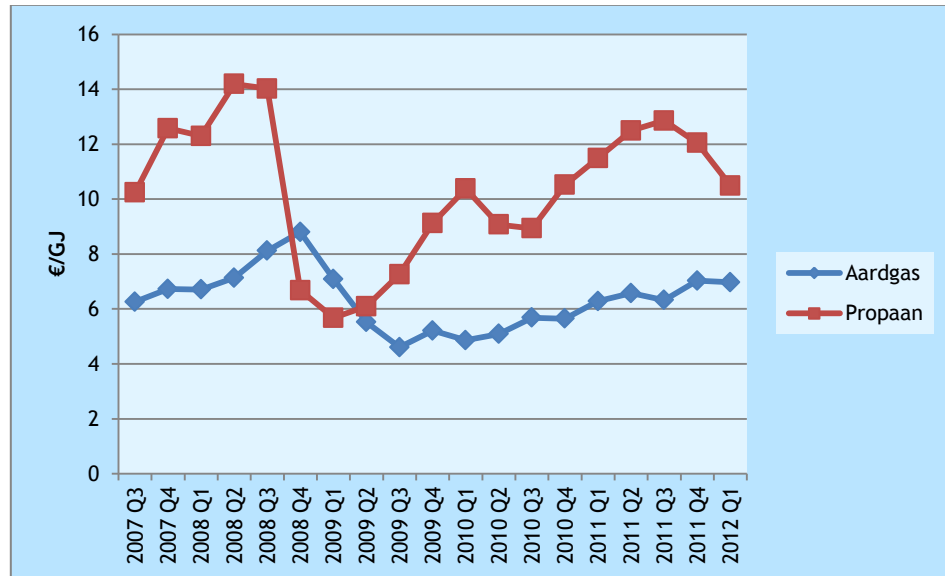
Het is dus noodzakelijk dat een belanghebbende partij het voortouw neemt om de dehydrogenatieplant te realiseren. Er is een trekker nodig waarvoor één van de onderstaande mogelijk voordelen voldoende is om het initiatief in dit project te nemen.

Mogelijke voordelen die bedrijven ertoe kunnen zetten om mee te werken aan de realisatie van de propaan-dehydrogenatieplant:

- Voor de eigenaar van de PDH-fabriek: inkomsten genereren uit de verkoop van propeen.
- Voor de afnemer van propeen: een stabiele voorziening van propeen feed stock, tegen concurrerende prijzen (beter dan uit nafta) waardoor naar de toekomst toe een strategisch voordeel behaald is.
- Voor de leveranciers van reststromen propaan: een stabiele afzetmarkt die meerwaarde creëert boven de spotmarkt (voor LPG als transportbrandstof) en hun investeringen voor het beschikbaar maken van propaan voldoende compenseert. Dit kan uit het prijsverschil tussen de marktprijs voor propaan en die voor aardgas betaald worden (zie Figuur 11).



Figuur 11 Prijzen aardgas vs. propaan op basis van energie-inhoud



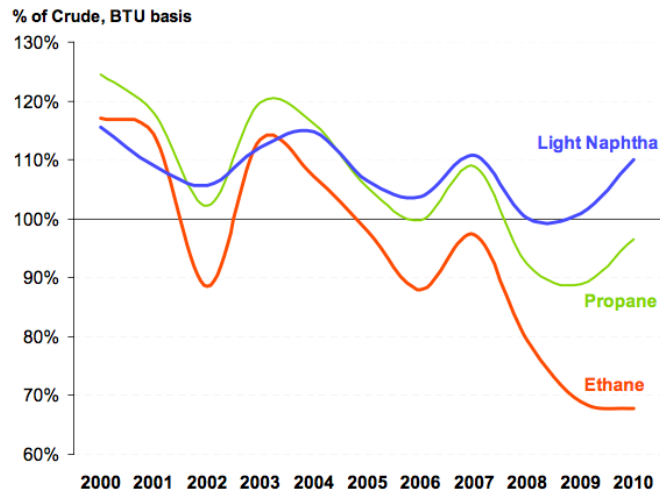
Aardgas - leveringsprijs grootverbruik CBS, propaan: IndexMundi, 2012.

8.4 Kostprijsontwikkeling propaan/propeen/nafta

De spreiding tussen propaan en propaan is de belangrijkste commerciële reden waarom een PDH-fabriek kansrijk is. Voor een investeringsbeslissing zal een trendanalyse en een gevoeligheidsanalyse rond de grondstoffen en producten uitgevoerd moeten worden door de investeerder. Hierop vooruitlopend zijn een aantal ontwikkelingen te identificeren die de business case haalbaarder maar mogelijk ook risicovoller maken.

De algemene trend is dat ethaan en propaan als grondstof voor olefinen aantrekkelijker geprijsd zijn geworden ten opzichte van nafta. Figuur 12 illustreert de kostprijsontwikkeling van grondstoffen voor olefinen in de VS over de afgelopen tien jaar. De ontwikkeling in de VS is sterk beïnvloed door de sterke groei van schaliegaswinning. Dit heeft geleid tot een toename in de productie van ethaan, en dalende prijzen. Omdat schaliegas nog niet zo'n rol speelt op de EU-markt, wijkt de prijsontwikkeling in de EU hier van af.

Figuur 12 Kostprijsontwikkeling grondstoffen olefinen, Verenigde Staten



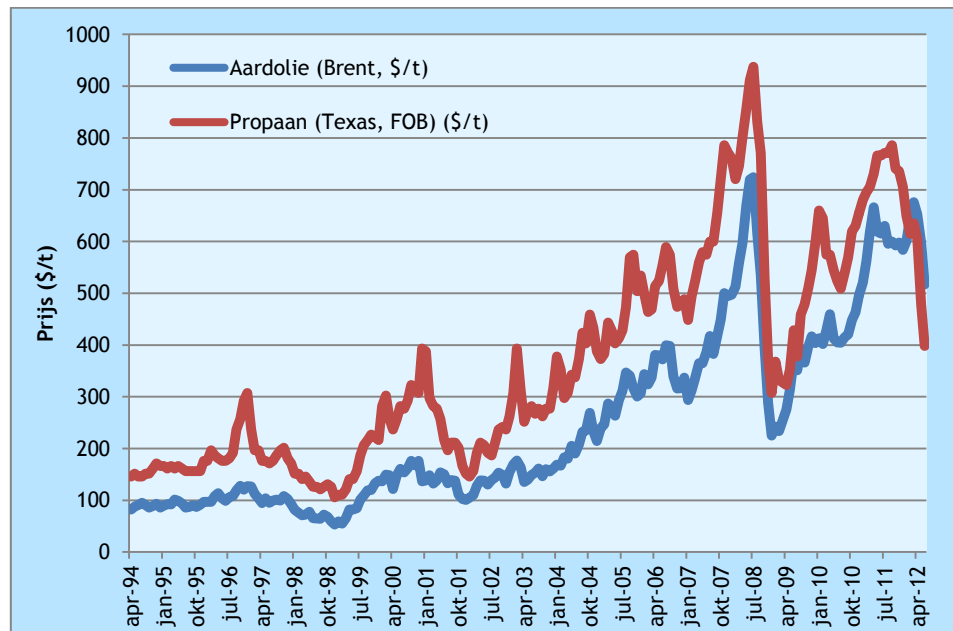
Bron: LyondellBasell (2010).

8.4.1 Propaan

De kans bestaat dat propaan goedkoper gaat worden dan nu het geval is. Er speelt een aantal ontwikkelingen.

Propaanprijzen bewegen traditioneel mee met de olieprijs (relatief constante opslag op de olieprijs). De reden is dat de belangrijkste bron van propaan de gasvormige fractie van de aardoliedestillatie is. De olieprijs fluctueert sterk, en daarmee ook de prijs van propaan. Figuur 13 geeft de ontwikkeling voor Brent-olie en propaanprijzen (Mont Belvieu, Texas) weer. Figuur 13 laat zien dat beiden tot ca. 2008 gelijk oplopen, maar dat daarna de propaanprijzen relatief dalen ten opzichte van de prijs van ruwe aardolie.

Figuur 13 Ontwikkeling olie- en propaanprijs 1994 t/m 2012 (Brent vs. Mont Belvieu Texas propaan)



Bron: IndexMundi (2012).



Alhoewel er voor Rotterdam nog transportkosten bijkomen ten opzichte van de bovenstaande propaanprijzen, de ontwikkeling van de afgelopen tien jaar is niet ongunstig t.a.v. de PDH business case.

Risico's/mogelijke ontwikkelingen:

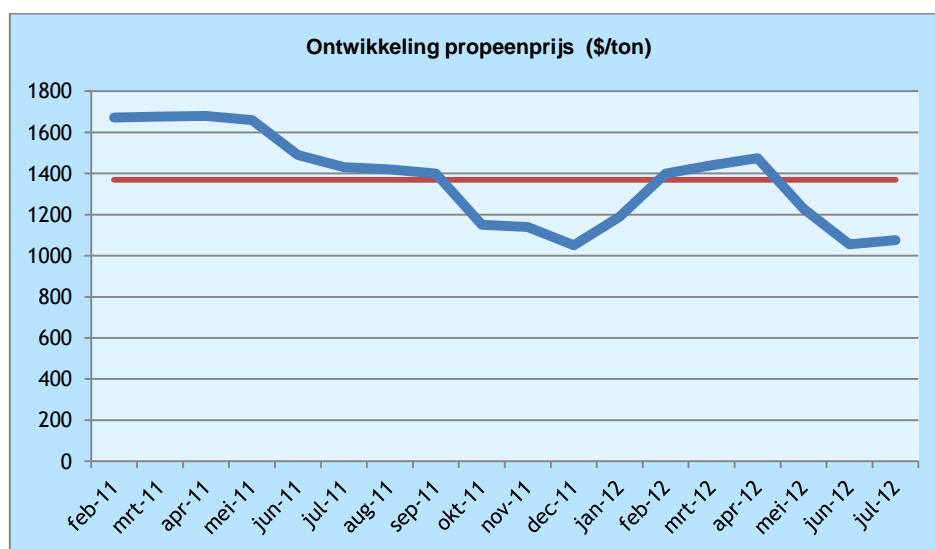
- In het Midden-Oosten worden raffinaderijen gebouwd en komt er kraker-capaciteit bij. De komende vijf jaren komen behoorlijk wat grote fabrieken on stream. Ook al worden in het Midden-Oosten enkele grootschalige PDH-fabrieken gebouwd, de hoeveelheid beschikbaar propaan kan mogelijk de vraag toch bijhouden waardoor de prijs laag blijft.
- De raffinagesector in Europa staat onder druk en is aan sterke veranderingen onderhevig. Dit zou kunnen leiden tot een teruglopende Europese productie van LPG en propaan. Hierdoor kan de prijs van propaan oplopen.
- Daarentegen kan een verdere afname van de populariteit van LPG-transportbrandstof de prijs drukken.

8.4.2 Propeen

In Europa is de markt voor propaan sterker gegroeid dan het aanbod van de naftakrakers, hierdoor is de markt voor propaan krap en zijn de prijsbeweging momenteel grillig. Het afgelopen jaar heeft swings van $\pm 23\%$ ten opzichte van het gemiddelde van \$ 1,370/ton laten zien.

Mogelijke ontwikkelingen zijn moeilijker te voorspellen. Door de upgrade van krakers en de bouw van krakers en PDH-capaciteit in bijv. het Midden-Oosten kan het aanbod van propaan weer groeien, waardoor de prijs misschien naar beneden kan, maar dit is onzeker en hangt af van de ontwikkelingen in de markten voor van polypropaan en andere van propaanafgeleide producten, in Rotterdam en in overige regio's.

Figuur 14 Ontwikkeling propaanprijs, 2011-2012 (rode lijn = gemiddelde)



Bron: Platts (2012).



In de economische analyse van de business case wordt gerekend met vaste factoren voor de opslag op de olieprijs. In werkelijkheid zijn de verschillende markten voor de verschillende producten gekoppeld, en bijvoorbeeld de etheenmarkt is in de VS aan het veranderen door de huidige schaliegas-ontwikkelingen: de toenemende winning van schaliegas zorgt voor een overschot aan ethaan.



9 Conclusies en aanbevelingen

9.1 Conclusies

- De optie om reststromen propaan hoogwaardiger in te zetten als grondstof voor de chemische industrie biedt in de keten perspectief op aanzienlijke reducties van CO₂-emissies en besparingen op energiegebruik. De technologie is op de markt beschikbaar. Kritieke factoren zijn de beschikbare omvang van propaanreststromen en de ontwikkeling van prijzen propaan en propeen. Bij typerende prijzen van 760 \$/ton propaan en 1.490 \$/ton propeen is de optie rendabel met een terugverdientijd van 6,3 jaar.

9.1.1 Stromen propaan en propeen

- In de Rotterdamse Haven komen in de huidige situatie reststromen propaan vrij bij de bedrijven Neste en Koch (resp. ca. 50-55 en 10 kton/jaar). Bij de raffinaderijen zijn in het stookgas reststromen propaan aanwezig in de orde van 250 kton/jaar. Bij de Gate LNG-terminal komt op dit moment geen propaanreststroom vrij, maar wanneer de doorzet door de terminal toe gaat nemen, kunnen hier substantiële stromen vrij gaan komen, in de orde van 50 - maximaal 350 kton/jaar.
- Daarnaast zijn er in de haven substantiële propaanproductstromen. Deze vooral zijn afkomstig van de raffinaderijen (ordegrootte 150-200 kton/jaar). Verder is er ook een productstroom propaan van ca. 8-15 kton/jaar van LyondellBasell.
- In de Rotterdamse Haven gebruiken de bedrijven Lyondell, Ducor, Momentive en Organik propeen, in de orde van 600-650 kton/jaar. Dit zijn bedrijven die niet zelf propeen produceren in een eigen kraakinstallatie.

9.1.2 Technologie

- Omzetting van propaan in propeen via propaan-dehydrogenatie is bewezen technologie en wordt wereldwijd in meer dan tien fabrieken commercieel toegepast. In de business case is uitgegaan van een productiecapaciteit van 350 kton propeen per jaar. Op grond van investeringskosten van recent gerealiseerde installaties is de investering hiervan geraamd op M€ 340 (+/- 25%).

9.1.3 Resultaten business case

- Een bepalende factor voor de economie van een propaan-dehydrogenatie-fabriek zijn de marktprijzen van propaan en propeen. In modelberekeningen zijn prijzen aangehouden van 760 \$/ton propaan en 1.490 \$/ton propeen. De terugverdientijd van de business case ligt dan op ca. 6,3 jaar.
- Dehydrogenatie van propaanreststromen en inzet van propeen als grondstof voor de chemie levert in de keten en forse besparing op van CO₂-emissies (ca. 500 kton/jaar) en energiegebruik (ca. 5.2 PJ/jaar). Dit zou hiermee een substantiële bijdrage kunnen leveren aan realisatie van de ambities van de Nederlandse chemische industrie in de Routekaart Chemie.



9.1.4 Onzekerheden en risico's

- Een kritieke factor voor realisatie van propaan-dehydrogenatie is de voldoende beschikbaarheid van propaan tegen een voldoende gunstige prijs. De huidige stromen (Neste, Koch) zijn waarschijnlijk te gering voor een fabriek van voldoende omvang.
Op termijn is echter te verwachten dat er substantieel meer propaanstromen op de markt zullen komen. Het is de verwachting op middellange termijn dat de doorzet van LNG door de Gate terminal gaat groeien, waarmee daar dan substantiële hoeveelheden propaan vrijgemaakt kunnen worden. (indicatie: 50 - maximaal 350 kton/jaar).
Een tweede factor is dat per 2014/2015 Neste voornemens is om de propaanreststroom (50-55 kton/jaar) te gaan zuiveren en op de markt als product af te gaan zetten.
- De ontwikkeling van de kostprijzen van propaan en propeen is een cruciale factor voor de rentabiliteit van een PDH-fabriek. In de afgelopen jaren is de ontwikkeling relatief gunstig geweest voor deze optie, met sterker stijgende propeen- dan propaanprijzen. De toekomstige ontwikkeling zal onder andere afhangen van de ontwikkeling van kraakcapaciteit in Europa (zal waarschijnlijk afnemen), ontwikkeling kraakcapaciteit in het Midden-Oosten en de VS (neemt toe), en de ontwikkeling van propeenproductiecapaciteit in de VS en het Midden-Oosten.
- Een andere optie is dat propaan wordt afgescheiden uit het stookgas van raffinaderijen. Het gaat hierbij om maximaal 260 kton/jaar.
Een belangrijke factor hierbij zijn de kosten voor afscheiding van propaan. Deze zijn in deze studie nog niet in kaart gebracht.
- Tot slot kan gedacht worden aan inzet van de bestaande propaan productstromen. Dit betreft in de huidige situatie ca. 160-220 kton propaan.
Ook dan kan het commercieel interessant zijn, de business case is immers gebaseerd op de geldende marktprijzen voor propaan.

9.2 Aanbeveling

- Het verdient aanbeveling om aan de hand van scenario's een verdere analyse te doen naar de te verwachten ontwikkeling van propaan- en propeenproductiecapaciteiten en prijzen. Dit geeft meer zicht op de te verwachten rentabiliteit van een PDH-productielocatie, en een beter beeld van de condities waarin een PDH-fabriek al dan niet rendabel zal zijn.
- Het verdient aanbeveling om met marktpartijen en overheden in de Rotterdamse Haven verder te verkennen in hoeverre zij interesse hebben in dit concept. Afhankelijk daarvan kan beoordeeld worden of het wenselijk en mogelijk is om stappen te zetten richting toekomstige realisatie van deze optie, bijvoorbeeld door in beslissingen rondom investeringen, gronduitgifte en aanleg infrastructuur, rekening te houden met deze optie.



Literatuurlijst

Argus, 2011

Argus LPG World - news price and analysis

Online beschikbaar:

<http://www.argusmedia.com/LPGNGL/-/media/Files/PDFs/Samples/Argus-LPG-World.ashx>

Laatst geraadpleegd: juni 2012

Argus, 2012

Argus International LPG - Propane ARA Large cargo

Online beschikbaar: <http://www.argusmedia.com/LPGNGL/Argus-International-LPG>

Laatst geraadpleegd: augustus 2012

CBS, 2012

CBS Statline, statistiek Aardolieproducten: aanbod, verbruik en voorraad

Online beschikbaar:

<http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=80100NED>

Laatst geraadpleegd: september 2012

CE, 2002

Transport and Environment in Europe - drawing up the facts

Delft : CE Delft, 2002

Chemical Engineering, 2012

Chemical Engineering Plant Cost Index

In : Chemical Engineering Magazine

<http://www.che.com/pci/>

Chemicals Technology, 2011

Tarragona, Spain

Online beschikbaar: [http://www.chemicals-](http://www.chemicals-technology.com/projects/tarragona-propane-dehydrogenation/)

[technology.com/projects/tarragona-propane-dehydrogenation/](http://www.chemicals-technology.com/projects/tarragona-propane-dehydrogenation/)

Laatst geraadpleegd: augustus 2012

Fluids Processing, 2011

In : Fluids Processing, Nr. 6 - december 2011, p16, 2011

Gate, 2012

Facts en figures, Gate LNG Terminal

Online beschikbaar: <http://www.gate.nl/gate-terminal/facts-and-figures.html>

Laatst geraadpleegd: augustus 2012

van Geloof, 2012

Koch HC Partnership B.V.

Persoonlijke mededeling Jeffrey van Geloof, 13-6-2012

Groensmit, 2012

Ernest Groensmit, Vopak LNG projects

Persoonlijke mededeling, 14-6-2012



ICIS, 2010

Propylene Europe Report Weekly Margin

Online beschikbaar:

<http://www.icis.com/chemicals/polypropylene/europe/margin-reporting-methodology/>

IndexMundi, 2012

Commodity Prices

Database van een aantal gepubliceerde commodity statistieken

Online beschikbaar: <http://www.indexmundi.com/commodities/>

Laatst geraadpleegd: augustus 2012

Islamicfinancenews, 2006

Al-Waha Petrochemical Company - A Brief Case Study

In : Deals of the Year 2006 Handbook

Online beschikbaar: <http://www.kantakji.com/fiqh/Files/Markets/502.pdf>

Laatst geraadpleegd augustus 2012

Koch Oil, 2012

Koch Supply & Trading

Website, online beschikbaar:

<http://www.kochoil.com/default3.asp?Section=Locations&location5=here>

Laatst geraadpleegd: juni 2012

LyondellBasell, 2010

Global Olefins & Polyolefins

Online beschikbaar: http://www.lyondellbasell.com/NR/rdonlyres/98E06773-66F0-4352-A384-C0AA6331FF20/0/Olefins_PolyolefinsBobPatel.pdf

Laatst geraadpleegd: juni 2012

Moulijn, et al., 2005

Jacob A. Moulijn, Michiel Makkee, Annelies van Diepen

Chemical Process Technology.

Chichester : Wiley & Sons, 2005

Platts, 2012

Platts Global Propylene Price Index

Online beschikbaar:

<http://www.platts.com/newsfeature/2012/pgpi/propylene>

Laatst geraadpleegd: augustus 2012

Plantas Quimicas, 2009

Technische beschrijvingen o.a. propaan dehydrogenatie technologie

Niet meer online beschikbaar

Port of Rotterdam, 2011

Havencijfers 2011

Rotterdam : Port of Rotterdam, 2011

Projectbureau nieuw gas, 2011

Maurits Clement e.a.

Inventarisatie gevolgen transitie nieuw aardgas voor H-gas gebruikers

Den Haag : Agentschap NL, 2011



Ruigrok, 2009

Gerard Ruigrok

Workshop ATEX 137 (16 april 2009)

Hoe beoordeelt U mechanische ontstekingsbronnen?

Online beschikbaar:

<http://www.vnci.nl/atex137/workshop%20atex%20137%20presentatie%20Gerard%20Ruigrok.pdf>

Laatst geraadpleegd: juni 2012

Schuttevaer, 2012

Doorbraak voor LNG als transportbrandstof in 2013

Online beschikbaar: <http://www.schuttevaer.nl/nieuws/techniek/nid17792-doorbraak-voor-lng-als-transportbrandstof-in-2013.html>

Laatst geraadpleegd: augustus 2012

Sibur, 2009

SIBUR Choose an EPC-contractor

Online beschikbaar: http://sibur.com/press_center/projects/1956/

Laatst geraadpleegd: augustus 2012

UOP, 2011

UOP, Michael Berg, persoonlijke mededeling





Bijlage A Geraadpleegde bedrijven en contactpersonen

Gate terminal	Ernest Groensmit
Neste Oil	Bart Leenders
Koch HC Partnership	Jeffrey van Geloof
BP	Gerrie Smeenk
Shell	Remco Verspoor
Ducor	Erik Kok
LyondellBasell	Hans Stam
UOP	Michael Berg
HBR	Joris Hurenkamp
Deltalinqs	Paul Braams





Bijlage B Vraag naar propeen in de Nederlandse chemische industrie

Een inschatting van de binnenlandse vraag naar propeen binnen de chemische sector is in Tabel 17 weergegeven. Bronnen zijn Ecoinvent en VNCI Responsible Care 'de Nederlandse chemische sector' - concept v3, de laatste bron is aan CE Delft vertrouwelijk voor een ander project verstrekt. Vandaar de kolom met x-jes. Capaciteiten zijn natuurlijk vaak op basis van openbare bronnen te herleiden. Dit is voor een aantal bedrijven weergegeven. Propeen kent meer toepassingen buiten de chemische sector, onder andere alkylatie.

Het totaal telt op tot ca. 2 megaton per jaar. Daarbij is aangenomen dat fabrieken op 90% van de gestelde capaciteit draaien.

Tabel 17 Inschatting vraag naar propeen NL

Product	Bedrijf	Locatie	Productie- capaciteit (kt)	Bron capaciteit vertrouwelijk	Schatting vraag propyleen (kt/j)
Polypropeen (PP)	SABIC	Geleen	620		558
	Ducor petrochemicals (vh Domo)	Botlek	180		162
Propyleenoxide (PO)	Shell MSPO-1	Moerdijk	210	x	144
	Ellba (Shell/Basf) MSPO-2	Moerdijk	250		171
	LyondellBasel	Botlek	250	x	171
	LyondellBasel	Maasvlakte	285	x	195
Epichloorhydrine (ECH)	Momentive Specialty Chemicals	Pernis	85	x	32
Acrylonitril (ACN)	DSM	Geleen	275		226
Cumeen	Dow Chemical	Terneuzen	700	x	232
Isopropylalcohol (IPA)	Shell Chemicals	Pernis	265	x	176
Aceton	Shell Chemicals	Pernis	50	x	28
Methyl-iso-butylketon (MIKB)	Shell Chemicals	Pernis	35	x	20
Acrylaten	DSM NeoResins	Waalwijk	100	x	38
	Nuplex Resins	Bergen op Zoom	40	x	15
	Organik Holding	Rotterdam	50	x	19
Totaal incl. mogelijke dubbelstellingen					2.187
Totaal excl. mogelijke dubbelstellingen					2.096

Een groot deel van de vraag naar propeen is bij de bedrijven die propeen-productie uit eigen naftakrakers hebben, of die gesitueerd zijn op een chemische productiesite met een naftakraker. Deze propeenvraag is te beschouwen als 'gebonden' vraag.

De totale vraag naar propeen als feedstock binnen de Nederlandse chemie is ongeveer in lijn met de capaciteit van de Nederlandse naftakrakers als deze op 100% zouden draaien (2.075 kt), maar bij een lagere productie (bij 90% 1.860 kt) is er ruimte voor andere leveranciers.

Om hier meer inzicht in te verschaffen is in Tabel 18 een indicatie opgenomen van de meer 'vrije' versus 'de meer gebonden' afnemers.

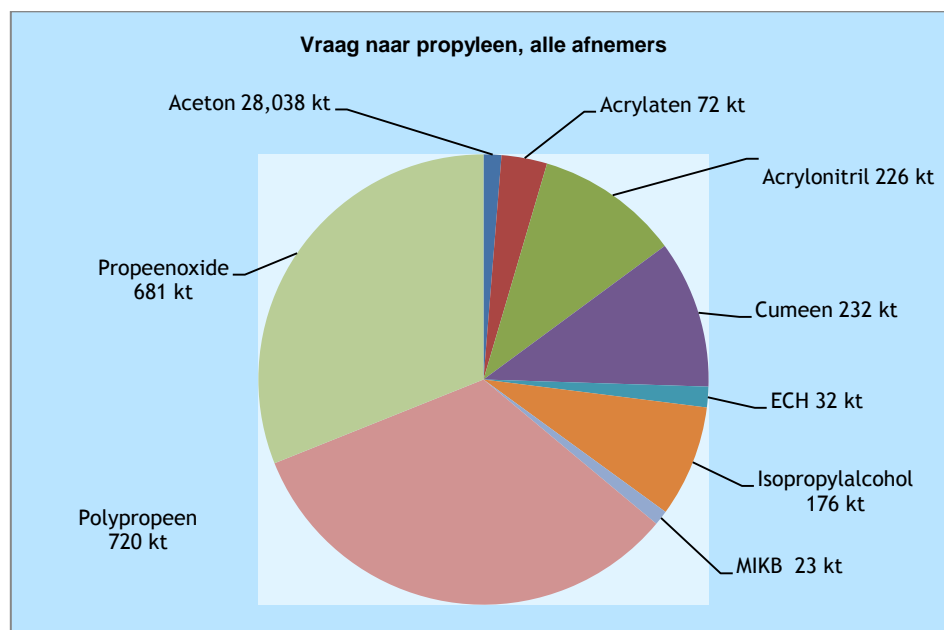


Tabel 18 Inschatting vraag naar propyleen NL - onderscheid vrije en gebonden afnemers (kt/jaar)

Product	Vraag naar propyleen, alle afnemers	Vraag propyleen vrije afnemers	Vraag propyleen vrije afnemers, excl. onzekere dubbelstellingen
Aceton	28		
Acrylaten	72	Nuplex, Organik: 34	
Acrylonitril	226		
Cumeen	232		
ECH	32	Momentive: 32	32
Isopropylalcohol	176		
MIKB	23		
Polypropyleen	720	Ducor: 162	162
Propeenoxide	681	Lyondell: 366	366
Totaal	2.191	594	560

Deze informatie is gevisualiseerd in onderstaande grafieken.

Figuur 15 Overzicht van de belangrijkste volumestroom propyleen naar toepassingen binnen de Nederlandse chemische sector (kt propyleen per jaar)



Figuur 16 Overzicht van de vraag naar propyeen van de vrije afnemers (kt propyeen per jaar)

