



Process Design Center B.V.
Postbus 7052
NL-4800 GB Breda
Nederland

eindrapport

Consolidatie Procesverbeteringen Raffinaderijen 2030

Evaluatie op basis van:

- ECN rapport "Raffinaderijen naar 2030"
- KBC rapporten "Energy Benchmarking of Dutch Refineries"
- Davidse rapporten "Groeipotentieel van warmtekrachtkoppeling in de Nederlandse aardolieraffinagesector"

Auteurs: dr. Hank Vleeming
ir. Peter Hinderink

Project nr.: P-824

Datum: 31 oktober 2011

NAMEN EN ADRESSEN

Agentschap NL

Joop Bormans
Team Netwerk Bedrijven
NL Energie en Klimaat
Postbus 17, 6130 AA Sittard
Swentiboldstraat 21, 6137 AE Sittard
Tel. 088 - 602 22 94
E-mail: joop.bormans@agentschapnl.nl

VNPI (Vereniging Nederlandse Petroleum Industrie)

Philip van der Want
Adjunct-Directeur
Postbus 29764, 2502 LT Den Haag, Netherlands.
Prinses Margrietplanoen 86, 2595 BR Den Haag
Tel. 070 - 3155 230
Fax. 070 - 3155 235
Mob. 06 - 232 49609
E-mail: pvdwant@vnpi.nl

Process Design Center B.V. (PDC)

Hank Vleeming
Senior Consultant
P.O. Box 7052, 4800 GB Breda
Catharinastraat 21-f, 4811 XD Breda
Tel. 076 - 530 1906
Fax: 076 - 522 5934
E-mail: vleeming@process-design-center.com

Peter Hinderink
Senior Consultant
P.O. Box 7052, 4800 GB Breda
Catharinastraat 21-f, 4811 XD Breda
Tel. 076 - 530 1907
Fax: 076 - 522 5934
E-mail: hinderink@process-design-center.com

Hans Keuken
Managing Director
P.O. Box 7052, 4800 GB Breda
Catharinastraat 21-f, 4811 XD Breda
Tel. 076 - 530 1900
Fax: 076 - 522 5934
E-mail: keuken@process-design-center.com

BP Raffinaderij Rotterdam B.V.

Simon van de Polder
Commercial Team Leader Utilities
d'Arcyweg 76, 3198 NA Rotterdam – Europoort
Tel. 0181 – 259454
Fax. 0181 – 259639
Mob. 06 – 23320289
E-mail: simon.polder@bp.com

ExxonMobil Rotterdam Refinery

Ton Jeen
Benelux Environmental Advisor & SHE Team Lead
ExxonMobil
Botlekweg 121, 3197 KA Rotterdam
Tel. 010-4874415
E-mail: ton.jeen@exxonmobil.com

Kuwait Petroleum Europoort B.V.

Jan Maarten van der Steen
Manager Environmental
PO Box 8000, 3198 XA Europoort RT
Moezelweg 255, Europoort RT
Tel. 0181 – 251439
Mob. 06 – 30903444
E-mail: j.m.van.der.steen@q8.com

Shell Nederland Raffinaderij B.V.

Evert van Velzen
Utility Masterplanning Technologist
Vondelingenweg 601
3196 KK Hoogvliet-Rt
Tel. 010 – 431 3499
Fax. 010 – 431 1507
E-mail: evert.vanvelzen@shell.com

Zeeland Refinery (voorheen Total Raffinaderij Nederland N.V.)

T.F.M. (Dick) de Graaf
Business Performance Analyst
Postbus 210, 4380 AE Vlissingen
Luxemburgweg 1, 4455 TM Nieuwdorp
Tel. 0113-619300
Fax. 0113-613644
E-mail: dick.de-graaf@TRN.nl



Agentschap NL
Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie

Deze studie is uitgevoerd in het kader van de Meerjaren-afspraken Energie-efficiëntie waarin afspraken zijn gemaakt over energie-efficiëntieverbetering. Het traject is gefinancierd door het ministerie van Economische Zaken Landbouw en Innovatie, en ondersteund door Agentschap NL. Informatie over Meerjarenafspraken Energie-efficiëntie kunt u vinden op: <http://www.agentschapnl.nl>.

INHOUDSOPGAVE

NAMEN EN ADRESSEN	2
INHOUDSOPGAVE	3
SAMENVATTING.....	4
1 INLEIDING	8
2 EVALUATIE KBC EN DAVIDSE RAPPORTEN	9
2.1 Good housekeeping.....	9
2.2 Fornuis efficiency.....	10
2.3 Stoomsysteem	10
2.4 Specifieke apparatuur.....	10
2.5 Pinch projecten	11
2.6 WKK.....	11
2.7 Algemene conclusies.....	12
3 EVALUATIE VAN TECHNOLOGIEËN UIT HET ECN RAPPORT	14
3.1 Algemene bevindingen	14
3.2 Energie-integratie	15
3.3 Utilities	16
3.3.1 Stoom-WKK.....	16
3.3.2 Procesgeïntegreerde WKK (Fornuis-WKK).....	16
3.4 Destillatie	17
3.4.1 Preflash drum/column.....	17
3.4.2 Dividing wall column	17
3.4.3 Optimalisatie CDU	18
3.4.4 Heat Integrated Distillation Columns (HIDiC).....	18
3.4.5 Progressieve destillatie.....	19
3.4.6 Whole crude treatment / Thermal cracking process.....	19
3.5 Coker residue gasification	19
3.6 Fluid Catalytic Cracking	19
3.6.1 FCC Downer reactor.....	19
3.6.2 Millisecond catalytic cracking	20
3.7 Alkylatie.....	20
3.8 Hydrocracking.....	20
3.8.1 Gebruik nieuwste katalysatoren	20
3.8.2 (HC) ₃ technologie.....	21
3.8.3 Residual hydroconversion	21
3.9 Ontzwaveling	21
3.10 Waterstofproductie.....	22
3.10.1 Membraantechnologie	22
3.10.2 CO ₂ afvang en opslag.....	22
3.11 Zwavelemisssies	22
3.12 Afvalwaterbehandeling	22
3.13 Ander studies.....	22
3.14 Nieuwe/andere raffinageconcepten.....	23
3.15 Biobrandstoffen.....	23
4 CONCLUSIES.....	24
REFERENTIES	26
BIJLAGE 1: OVERZICHT VAN DE TECHNOLOGIEËN UIT HET ECN RAPPORT	27

SAMENVATTING

In opdracht van Agentschap NL heeft PDC een studie uitgevoerd naar het praktisch haalbaar verbeterpotentieel van de Nederlandse raffinaderijsector tegen 2030 op basis van rapporten van ECN¹, KBC² en Davidse³. De studie is uitgevoerd in samenwerking met de VNPI en de Nederlandse raffinaderijen van Shell, Esso, BP, Kuwait Petroleum en Total, met wie vertrouwelijke bilaterale besprekingen zijn gevoerd. De uitkomsten van de bilaterale overleggen en verslagen zijn vertaald naar deze geaggregeerde eindrapportage, die betrekking heeft op de sector als geheel. Dit rapport geeft een overzicht van de belangrijkste resultaten alsmede een inschatting van het energiebesparingspotentieel en risico's voor implementatie (zie Tabel 1). Voor de bepaling van de energiebesparing voor de Nederlandse raffinagesector in PJ/jaar is uitgegaan van een totaal referentiegebruik van 150 PJ/jaar.

KBC rapport

Het gewogen gemiddelde van het energiebesparingspotentieel van de KBC opties met een terugverdientijd kleiner dan 5 jaar is door KBC ingeschat op 13%. Herbepaling van het gewogen gemiddelde op basis van de bilaterale besprekingen resulteert in een lagere schatting van maximaal 8.3%. De bijstelling naar beneden wordt voornamelijk veroorzaakt doordat efficiencyverbeteringen door operatie onder maximale capaciteitsbenutting zijn afgetrokken (geen groeiemarkt) en diverse projecten die door KBC als rendabel waren ingeschat uiteindelijk na bestudering door de raffinaderijen technisch of economisch niet haalbaar blijken. Het herbepaalde potentieel van 8.3% moet als een maximum worden beschouwd, omdat een aantal KBC opties sinds het referentiejaar van 2006 al is uitgevoerd. Verder is de inschatting (van de raffinaderijen) dat een aantal nog niet uitgewerkte opties een geringere besparing zullen opleveren dan door KBC ingeschat.

Davidse rapport

Het Davidse rapport behandelt in hoofdlijnen drie typen WKK opties (zie Tabel 1):

1. Conventionele WKK, waarbij cogeneratie van elektriciteit en stoom plaatsvindt. Deze opties zijn echter in overlap met het KBC rapport.
2. De procesgeïntegreerde WKK, waarbij processtromen worden verwarmd/verdampt in de warmteterugwinningseenheid na de gasturbine, wordt binnen de raffinaderijsector algemeen erkend als effectieve maatregel om een aanzienlijke efficiencyverhoging te bereiken.
3. Fornois-WKK, ook wel 'repowering-WKK' genoemd, waarbij gasturbine uitlaatgas wordt gebruikt als verbrandingslucht in fornuizen, is technisch moeilijk inpasbaar omdat het aanzienlijke aanpassing van bestaande apparatuur vereist.

De procesgeïntegreerde- en fornuis-WKK kunnen als complementair aan het KBC rapport worden beschouwd. Het technisch haalbaar besparingspotentieel van 4.5 PJ/jaar is uit het Davidse rapport overgenomen. Nochtans zijn er diverse belemmeringen die de realisatie bemoeilijken, o.a. technische inpassing met bestaande apparatuur indien het niet samenvalt met een debottlenecking (capaciteitsverhoging), de aanzienlijke investeringskosten, en het feit dat ook procesgeïntegreerde WKK nog een hoeveelheid stoom genereert, waarvoor veelal binnen de raffinaderij geen outlet is. Desalniettemin is de verwachting dat nieuwe procesgeïntegreerde WKK opties geïmplementeerd zullen worden in de periode tot 2030 in combinatie met debottlenecking- of vervangingsprojecten. De economisch haalbare energiebesparing hiervan is ingeschat op 1.7 PJ/jaar (1.1%). In vergelijking met procesgeïntegreerde WKK leidt de "repowering WKK optie" tot een kleinere gasturbine, welke relatief duur is en minder efficiënt, waardoor de economie van dit type WKK over het algemeen ongunstiger uitvalt. Een belangrijke randvoorwaarde voor implementatie van (procesgeïntegreerde) WKK is dat de rentabiliteit voldoende is in vergelijking met alternatieve opties of projecten, zoals elektriciteit geproduceerd in conventionele kolencentrales.

¹ A.J. Plomp, P. Kroon, "Raffinaderijen naar 2030", ECN rapport ECN-E—10-064, december 2010 [1].

² KBC studie "Energy Benchmarking of Dutch Refineries", VNPI Summary Report, mei 2008 [2].

³ H. Davidse, "Onderzoek naar het groeipotentieel van warmtekrachtkoppeling in de Nederlandse aardolieraffinagesector en de daarmee te realiseren brandstofbesparing en CO₂-emissiereductie", juli 2010 [3].

ECN rapport

De technologieën uit het ECN-rapport zijn gerangschikt in vijf categorieën:

1. Energiebesparingstechnologieën
 - *Energie-integratie CDU-VDU-Coker*: Deze integratieoptie is maar ten dele door KBC onderzocht, dus er is sprake van gedeeltelijke overlap. Integratie is voor een belangrijk deel al ingevoerd doordat CDU bodemaflopen al warm worden doorgezonden, maar voor het andere deel niet toegepast vanwege een scala aan redenen, zoals: Keuze voor alternatieve warmte-integratie, gewenste operatieflexibiliteit bijvoorbeeld bij wisselende voedingstromen of aanbod van zijstromen, fysiek ruimtegebrek of te grote onderlinge afstand en historische keuzes. Het technisch haalbaar potentieel is ten opzichte van het door ECN genoemde besparings-potentieel, dat uitgaat van een volledig niet-geïntegreerd referentiekader, significant naar beneden bijgesteld. Integratie achteraf in bestaande, al warmtegeïntegreerde installaties, is relatief duur, waardoor dit type integratie als niet economisch haalbaar wordt ingeschat.
 - *Stoom- en fornuis-WKK*: De WKK-opties genoemd in het ECN rapport zijn volledig in overlap met de KBC/Davidse studies.
 - *Preflash kolom/drum*: Voor ongeveer de helft van de Nederlandse raffinagecapaciteit is een preflash kolom/drum al in operatie. In andere gevallen wordt de technologie vanuit technische of kostenoverwegingen of gewenste bedrijfsvoering niet toegepast. In de plaats zijn soms andere energiebesparingsmaatregelen uitgevoerd die deels concurrerend zijn. Hierdoor wordt de economische haalbaarheid van een preflash kolom of drum negatief beïnvloed.
 - *Optimalisatie destillatie-eenheid (CDU)*: Voorverwarming van de CDU voeding en warmte-integratie rond de CDU zijn reeds aanwezig en voor zover nog besparingen mogelijk zijn, zijn deze in overlap met de KBC studie. Verder heeft elke raffinaderij inmiddels zijn eigen energie-managementsystemen en geavanceerde controlesystemen, waarmee energiegebruiken worden gemonitord en geminimaliseerd. Het restpotentieel aan economisch rendabele besparingsmogelijkheden is dan ook zeer gering en wordt op nul gesteld.
2. Technologieën alleen geschikt voor nieuwbouw
 - Hieronder vallen geavanceerde technologieën zoals *progressieve destillatie* en *nieuwe raffinaderijconcepten* zoals *'whole crude treatment'*. Vanwege de verstrekkende gevolgen en ingrijpende aanpassingen aan de raffinaderij zijn deze opties enkel interessant voor nieuwbouw. In bestaande raffinaderijen zijn deze grotendeels nog niet bewezen technologieën echter geen (economisch) haalbare opties vanwege de grote risico's en investeringen.
3. Technologieën met geen of een beperkte waarde voor de Nederlandse situatie
 - Dit betreft *verbeterde FCC technologieën*. Enkele FCC-units zijn nog in operatie, maar de toekomst voor FCC in Nederland is gering. Vanwege de teruglopende benzinemarkt worden geen investeringen / uitbreidingen voorzien en derhalve geen besparingen verwacht.
4. Technologieën, die mogelijkheden (zouden kunnen) bieden tot energie-efficiëntieverbeteringen
 - *Dividing wall column*: Deze optie wordt in beginsel gezien als technisch haalbaar voor lichte fracties (nafta, benzine). De door ECN genoemde besparing van 30% ten opzichte van conventionele destillatie lijkt reëel voor typische toepassingen. Als belangrijk nadeel wordt een beperking in operatievrijheden gezien, bijvoorbeeld bij fluctuaties in de voedingsamenstelling. Omdat een dividing wall column twee bestaande kolommen vervangt en de mogelijkheid dat zich een debottlenecking- of vervangingsvraag voordoet als zeer gering wordt ingeschat, wordt geen economisch haalbaar besparingspotentieel ingeschat.
 - *Heat-integrated distillation column (HIDiC)*: Toepassing van HIDiC technologie in een bestaande raffinaderij, waarbij bestaande crude- en vacuümdestillatie unit worden vervangen is zeer onwaarschijnlijk. Analooq aan de dividing wall column wordt de economische haalbaarheid op nihil geschat.
 - *Waterstofferugwinning via membraantechnologie*: Deze technologie wordt erkend als bewezen technologie en al toegepast op waterstofrijke stromen. Als alternatief worden waterstofrijke stromen geïntegreerd met de waterstoffabriek. De resterende mogelijkheden zijn beperkt.
5. Technologieën, die weinig, geen of negatieve energiebesparing opleveren, of waarbij op voorhand niet duidelijk is of zij een energiebesparing kunnen opleveren.
 - *Afvalwaterbehandeling*: Gezien het relatief geringe energiegebruik is geen significante besparing te verwachten.

- *Coker residue gasification*: Opwerking zal leiden tot een hoger energiegebruik, vooralsnog is er een markt voor de residuen (stookolie/bunkerfuel).
- *Alkylatie - diverse verbeteringsopties en beperking fluorverlies*: Besparingen, indien die al gerealiseerd kunnen worden, zijn beperkt vanwege de zeer beperkte toepassing van alkylatie en de krimpende benzinemarkt.
- *Hydrocracking – nieuwe katalysatoren*: Verbeteringen aan de katalysatoren leiden niet direct tot energiebesparing omdat hydrocrackers over het algemeen op de grens van de maximale last worden geopereerd. Echter, indien de verbeterde katalysatoren tot lagere waterstofconsumptie leiden, wordt indirect een besparing in de waterstoffabriek gerealiseerd.
- *Hydrocracking – nieuwe technologieën*: Voor bestaande raffinaderijen zijn compleet nieuwe hydrocracking technologieën minder interessant. Op voorhand is niet duidelijk of de nieuwe hydrocrackingtechnologieën energiebesparing opleveren.
- *Ontzwaveling - diverse technologieën*: Raffinaderijen richten zich voornamelijk op het optimaliseren van bestaande HDS technologie en minder op nieuwe ontzwavelings-technologieën, die een grote mate van technische onzekerheid kennen (vaak niet bewezen technologie). De bepaling of en in welke mate alternatieve technologieën een energiebesparing opleveren is complex, vanwege de impact op andere operaties of omdat een combinatie van technieken is vereist.
- *CO₂ afvang en opslag, zwavelrecovery / emissiereductie*: Emissiereductie wordt ingegeven door milieumaatregelen en kosten. Het leidt tot een hoger energiegebruik.
- *Biobrandstoffen*: Productie van biobrandstoffen uit hernieuwbare grondstoffen leidt over het algemeen tot een hoger energiegebruik, bijvoorbeeld door een hoger waterstofgebruik.

Samenvattend is van de technologieën vermeld in het ECN rapport slechts een geringe extra besparing te verwachten tot 2030 ten opzichte van de KBC/Davidse studies, tenzij tot debottlenecking, vervanging of nieuwbouw wordt besloten. De belangrijkste redenen hiervoor zijn:

- De voorgestelde energiebesparingstechnologieën hebben een significante overlap met de KBC en Davidse studies.
- Het door ECN gehanteerde referentiekader voor afschatting van het besparingspotentieel is veelal niet representatief voor de actuele situatie bij de Nederlandse raffinaderijen, omdat voorgestelde technologieën of verbeteringsopties voor een belangrijk deel al zijn doorgevoerd en in operatie.
- Raffinaderijen in het verleden hebben gekozen voor alternatieve energiebesparingsmaatregelen en warmteintegraties, die concurreren met voorgestelde opties. Hierdoor is het werkelijke besparingspotentieel lager en wordt de economische haalbaarheid negatief beïnvloed.
- Diverse geavanceerde technologieën zijn alleen interessant bij nieuwbouw en niet economisch haalbaar in bestaande raffinaderijen.
- Een groot aantal technologieën is primair gericht op verbetering van de milieueffecten en verduurzaming en levert geen directe energiebesparing op.

Herbepaling van het totaal aan economisch haalbare energiebesparingsopties op basis van de getallen in Tabel 1 komt uit op 9.4%. Hierbij dient aangetekend te worden dat optelling wordt bemoeilijkt doordat ook minimum en maximum getallen worden vermeld. Er zijn bovendien nog andere (energie)besparingsopties, die buiten de scope van deze studie vallen.

Tabel 1: Overzicht van besparingsopties, gerapporteerd en geschat besparingspotentieel en risico's

Rapport	Nr.	Technologie	Besparing ¹				Risico's (Organisatie / Markt / Technologie)
			Volgens bron		PDC studie		
			Technisch haalbaar, PJ/jaar	Economisch haalbaar, PJ/jaar	Technisch haalbaar, PJ/jaar	Economisch haalbaar, PJ/jaar	
KBC	K-1	Procesmodificaties, warmteintegratie / pinchprojecten, fornuisefficiency-verbeteringen, conventionele stoom WKK	-	19.5 (13%)	-	<12.5 (<8.3%)	M / M / S
	D-1	Conventionele stoom-WKK	6.0 (4%)	0.15-0.6	overlap KBC	overlap KBC	M / M / S
Davide	D-2	Procesgeïntegreerde WKK	4.5 (3%)	(0.1-0.4%) ²	4.5 (3%)	0 (0%)	M / M / M
	D-3	Fornuis-WKK	-	-	0.4 (0.3%)	1.7 (1.1%) ³	M / M / L
ECN	E-1.1	Energie-integratie CDU-VDU-Coker	4.0 (2.7%)	-	overlap KBC	0 (0%)	M / M / S
	E-1.2	Stoom-WKK	8.1 (5.4%) ⁴	-	overlap KBC	overlap KBC	M / M / S
	E-1.3	Fornuis-WKK	3.2 (5.4%) ⁴	-	overlap Davide	overlap Davide	M / M / M
	E-1.4	Preflash drum/column	4.3 (2.9%) ⁵	-	<2 (<1.3%)	0 (0%), deels overlap KBC	M / M / M
	E-1.5	Optimalisatie destillatie-eenheid	22% (op CDU)	-	overlap KBC	overlap KBC	S / S / S
	E-2	Progressive distillation / Whole crude treatment / Nieuwe raffinaderijconcepten	-	-	-	0 (0%)	(X)XL / (X)XL / (X)XL
	E-3	FCC technologieën (FCC Downer / millisecond catalytic cracking)	-	-	-	0 (0%)	M / M / M
	E-4-1	Dividing-wall column	30% t.o.v. conventioneel	-	30% t.o.v. conventioneel	0 (0%)	M / M / L
E-4.2	Heat Integrated Distillation Columns (HIDIC)	30% t.o.v. conventioneel	-	>0 (>0%)	0 (0%)	M / M / L	
E-4.3	Waterstof productie - membraantechnologie	-	-	>0 (>0%)	>0 (>0%)	M / M / M	
E-5.1	Afvalwaterbehandeling - div. verbeteringsopties	-	-	>0 (>0%)	-	M / S / M	
E-5.2	Coker - residue gasification	-	-	≤0	≤0	L / L / M	
E-5.3a	Alkylatie - diverse verbeteringsopties	-	-	- ⁶	- ⁶	L / L / (X)XL	
E-5.3b	Alkylatie - beperking fluorverlies	-	-	≤0	≤0	L / L / M	
E-5.4a	Hydrocracking - nieuwe katalysatoren	-	-	>0 (>0%)	>0 (>0%)	M / M / M	
E-5.4b	Hydrocracking - nieuwe technologieën	-	-	- ⁶	- ⁶	XL / X / (X)XL	
E-5.5	Onzawaveling - diverse technologieën	-	-	- ⁶	- ⁶	L / XL / (X)XL	
E-5.6	CO2 afvang en opslag	-	-	≤0	≤0	XL / XL / XL	
E-5.7	Zwavelrecovery / emissiereductie	-	-	≤0	≤0	M / M / (X)XL	
E-5.8	Biobrandstoffen	-	-	≤0	≤0	L / L / XL	

¹ Gebaseerd op een totaal gebruik van de Nederlandse raffinaderijen van 150 PJ/jaar

² Gebaseerd op een IRR > 15%

³ Alleen bij debottlenecking of vervanging van fornuizen

⁴ Berekend uit opgegeven CO₂ emissiereductiegetal

⁵ Uitgaande van 15% totaalenergiegebruik voor CDU fornuizen (aanname) en 19% besparing (ECN rapport)

⁶ Op voorhand niet duidelijk of energiebesparing mag worden verwacht

1 INLEIDING

In opdracht van Agentschap NL (AgNL) heeft PDC een studie uitgevoerd naar het praktisch haalbare verbeterpotentieel bij de Nederlandse raffinaderijsector tegen 2030. AgNL wil hiermee de volgende doelstellingen bereiken:

- In het kader van het MEE Convenant inzicht verkrijgen in het praktisch haalbare verbeterpotentieel bij de raffinaderijsector in 2030;
- Het creëren van draagvlak in de sector voor dit verbeterpotentieel.

De studie is uitgevoerd in de periode januari - september 2011 in nauwe samenwerking met de Vereniging Nederlandse Petroleum Industrie (VNPI) en de raffinaderijen in Nederland van Shell, Esso, BP, Kuwait Petroleum en Total. Er zijn twee rondes van vertrouwelijke bilaterale overleggen met elke raffinaderij gehouden.

Drie rapportages vormen de basis voor de studie:

- ECN rapport "Raffinaderijen naar 2030", december 2010 [1]
- KBC studie "Energy Benchmarking of Dutch Refineries", 2008, en onderliggende confidentiële raffinaderij-specifieke rapporten [2]
- H. Davidse, "Onderzoek naar het groeipotentieel van warmtekrachtkoppeling in de Nederlandse aardolieraffinagesector en de daarmee te realiseren brandstofbesparing en CO₂-emissiereductie", juli 2010, en onderliggende confidentiële raffinaderij-specifieke rapporten [3].

De uitvoering van het project is gedefinieerd in de PDC offerte [4] en het startdocument met algemene uitgangspunten [5]. Tijdens de uitvoering van het project is in overleg met AgNL en de VNPI tot een aantal wijzigingen besloten. De belangrijkste zijn:

- Tussen de individuele raffinaderijen en PDC zijn in het beginstadium van het project vertrouwelijkheidsovereenkomsten gesloten ten einde de confidentialiteit van de raffinaderij-specifieke KBC en Davidse rapporten, de bilaterale overleggen en de raffinaderij-specifieke verslagen te waarborgen. Dit heeft geleid tot enige vertraging in de start van het project.
- De raffinaderij-specifieke KBC studies bleken niet voor alle raffinaderijen in gelijk detail te zijn uitgevoerd en bovendien te weinig informatie te bevatten voor (her)bepaling van de terugverdientijden van energiebesparingsopties. Hierop is besloten geen herberekeningen uit te voeren van door KBC vermelde besparingsopties en de door KBC gerapporteerde besparingen aan te houden.
- De evaluatie van technologieën uit het ECN rapport en de overlap met de KBC/Davidse studies is eerst op generieke basis uitgevoerd en op verzoek van VNPI/AgentschapNL gerapporteerd in een tussenrapportage per 15 juni. Vervolgens zijn de opties in bilaterale overleggen met de individuele raffinaderijen besproken.
- Voorafgaand aan dit generiek eindrapport op sectorniveau is een voorlopige samenvatting uitgebracht, d.d. 30 september 2011, ten behoeve van de voorstudie door Berenschot [6]. In het project zijn verder twee generieke tussenrapportages afgeleverd [7,8].

Hoofdstuk 2 van dit rapport beschrijft de geaggregeerde generieke resultaten van de evaluatie van de raffinaderij-specifieke KBC/Davidse rapporten. In Hoofdstuk 3 wordt de evaluatie van de technologieën uit het ECN rapport beschreven, alsmede de overlap met de KBC/Davidse studies. De conclusies zijn samengevat in Hoofdstuk 4.

In het rapport is waar mogelijk op een zo goed mogelijk gefundeerde basis een (her)schatting gemaakt van het besparingspotentieel per technologie. Indien vertrouwelijke informatie ten grondslag ligt aan de berekening zijn details van de berekening weggelaten. De nadruk is gelegd op de veralgemeniseerde omschrijving van de belangrijkste oorzaken, randvoorwaarden en belemmeringen die ten grondslag liggen aan de herbepaling. Mogelijke additionele (energie)besparingsopties, die niet in de KBC, Davidse en ECN rapportages worden genoemd, zijn buiten de scope van deze studie gehouden.

2 EVALUATIE KBC EN DAVIDSE RAPPORTEN

De KBC en Davidse rapporten [2,3] omvatten elk een generiek rapport en daarnaast raffinaderij-specifieke rapporten. De raffinaderij-specifieke rapporten zijn geëvalueerd en besproken in vertrouwelijke bilaterale gesprekken met de vijf raffinaderijen. Belangrijke onderdelen bij deze besprekingen waren de huidige status van deze energiebesparingsopties binnen de betreffende raffinaderij (o.a. is het project gerealiseerd, in studie, of verworpen?). Ook zijn randvoorwaarden, belemmeringen en mogelijke synergie met ander bedrijfsdoelstellingen per energiebesparingsoptie besproken.

Ten opzichte van de projectdefinitie [1] is de belangrijkste wijziging in de projectuitvoering dat PDC de economie van de opties niet heeft herbepaald. De belangrijkste redenen hiervoor zijn:

- De gehanteerde c.q. geraadpleegde rapporten bevatten hiervoor te weinig aanknopingspunten, hetgeen afwijkt van de oorspronkelijke PDC verwachting. De benodigde informatie kan wel beschikbaar worden gesteld door de raffinaderijen, maar het zou te tijdrovend zijn om alle opties na te lopen / na te rekenen, omdat de gegevens over de opties niet "kant-en-klaar" in één document staan bij de betreffende raffinaderij. Voorts is in één geval bekend, dat deze gegevens alleen ter inzage zouden zijn op de site.
- De raffinaderijen betwijfelen of PDC met een nauwkeurigere kostenraming c.q. economische haalbaarheidsanalyse kan komen dan KBC/Davidse; in principe wordt eenzelfde rekenmethodiek gebruikt. De opties die de raffinaderijen zelf hebben bestudeerd of hebben laten bestuderen door met name consultantafdelingen van contractors bevatten reeds nauwkeurige kostenramingen.

In overleg met AgNL en de VNPI is besloten om geen herberekening van de rentabiliteit van energiebesparingsopties uit te voeren, maar de door KBC/Davidse gerapporteerde getallen te gebruiken.

De geaggregeerde resultaten van de bilaterale interviews zijn in dit hoofdstuk kort verrat. De energiebesparingsopties zijn als volgt in categorieën onderverdeeld.

- Good housekeeping opties (non- & low-investment opties)
- Furnisefficiency
- Stoomsysteem
- Specifieke apparatuur
- Pinchprojecten (warmte-integratie / warmte-recuperatie)
- WKK

Per categorie zullen de voor de Nederlandse raffinaderijsector voornaamste opties toegelicht worden.

De geaggregeerde resultaten beschreven in dit hoofdstuk betreffen alleen de opties uit bovenvermelde KBC en Davidse rapporten. Overige opties die tijdens de bilaterale gesprekken met de raffinaderijen naar voren kwamen vallen buiten de scope van dit verslag met geaggregeerde resultaten. De technologieën uit het ECN rapport en de mate van overlap met de KBC/Davidse studies worden besproken in Hoofdstuk 3.

2.1 Good housekeeping

Met betrekking tot de belangrijkste "good housekeeping"-maatregelen kan het volgende worden vermeld:

- Opstellen en toegankelijk maken Energy Management Systemen: Energy Management Systemen zijn door de jaren heen veelal intern ontwikkeld door de raffinaderijen. Een trend bij elke raffinaderij is om het eigen systeem door te ontwikkelen tot één geïntegreerd systeem, waarin actuele technische parameters direct getoond kunnen worden, alsmede kostenposten. Zodoende kan een gebruiker/operator direct het effect zien van een uitgevoerde actie. De ontwikkeling van dergelijke systemen lijkt bij de meeste raffinaderijen in een gevorderd stadium; de impact op de energie-efficiency bij verdere ontwikkeling zal waarschijnlijk steeds geringer zijn.
- Onderhoud/vervanging condenspotten: Tegenwoordig is dit bij alle raffinaderijen een "on-going" actiepunten. Raffinaderijen verschillen echter in hun voortgang.
- Optimalisatie condensaat retourssystemen: Idem als hierboven. Hoge investeringen in nieuw leidingwerk vormt gewoonlijk een belemmering.
- Minimalisatie affakkelen: De mate van affakkelen verschilt per raffinaderij en wordt bepaald door optredende lekkages van overdrukbeveiligingen, noodzaak tot purging (spoelen met een gas) en

de mogelijkheid van het optreden van een stooknetonbalans bij procesverstoringen. Acties op dit punt worden voornamelijk ondernomen t.b.v. de milieuvergunning. Affakkelen omwege economische redenen is niet toegestaan.

2.2 Fornuis efficiency

- Reductie overmaat luchttoevoer: Raffinaderijen omvatten een groot aantal fornuizen. Het energetisch rendement van deze fornuizen blijkt vaak lager te liggen dan de "best-practice" waarde van 92% aangegeven door KBC. Fornuizen zijn doorgaans uitgerust met een zuurstofregeling. De streefwaarde voor de luchttoevoer is niet voor alle geïnstalleerde fornuizen gelijk. Studies zijn gaande om de luchttoevoer regeling te optimaliseren. Veelal zijn echter meerdere fornuisaanpassingen nodig om op een best-practice waarde te kunnen opereren.
- Installatie luchtvoorverwarmers (LUVO's): In het verleden maakten LUVO's geen standaard onderdeel uit van de fornuizen op de raffinaderijen; ze zijn in de loop der jaren geleidelijk ingevoerd op de meeste grote fornuizen, echter niet op de meeste kleinere fornuizen. Diverse studies zijn onlangs uitgevoerd of worden thans uitgevoerd bij de raffinaderijen om de economische haalbaarheid voor de installatie van LUVO's te onderzoeken op fornuizen waar ze nog ontbreken. In een paar gevallen hebben deze studies geleid tot daadwerkelijke implementatieprojecten. Het besparingspotentieel dat door KBC wordt opgegeven met betrekking tot de toepassing van LUVO's bij fornuizen is echter soms te rooskleurig. Dit is voornamelijk in die gevallen waar ze uitgaat van de Best Available Technology (BAT energie-efficiency voor een procesfornuis) als referentie, hetgeen o.a. inhoudt dat de fornuizen worden bedreven bij "minimale overmaat" luchttoevoer. Hierdoor worden relatief veel "LUVO projecten" door KBC aangemerkt als rendabel, terwijl in werkelijkheid meer modificaties nodig zijn waardoor investeringen hoger uitvallen en de rentabiliteit lager is.

2.3 Stoomsysteem

- Minimalisatie stoom let-down: Het aflaten van hoge- of middendruk stoom naar een lager niveau in het stoomnet van de raffinaderij gebeurt veelvuldig en veelal zonder energierecuperatie. Raffinaderijen ondernemen op diverse wijze acties om efficiënter hun stoomnet per drukniveau in balans te brengen. Studies zijn gaande om tegendruk-stoomturbines te installeren.
- Voorverwarming make-up water / BFW: KBC kent een aanzienlijke energiebesparing toe aan deze maatregel. Bij de meeste raffinaderijen is deze optie niet bestudeerd. Daar waar deze optie wel is bekeken bleek slechts een geringe energiebesparing.
- Optimalisatie procescondities ontgasser: Een studie hieromtrent heeft doorgaans geen prioriteit bij de raffinaderijen. In de visie van PDC mag dit onderwerp meer aandacht krijgen.

2.4 Specifieke apparatuur

- Toepassing van elektromotoren voor mechanische aandrijving van machines i.p.v. stoomturbines: Huidige (kleinere) stoomturbines t.b.v. de mechanische aandrijving van roterende apparatuur blijken veelal slechts een matig energetisch rendement te vertonen. Een mogelijkheid is om deze aandrijvingen te vervangen door elektrische aandrijvingen in combinatie met een efficiënte elektriciteitsopwekking op de raffinaderij. De meeste mechanische aandrijvingen op een raffinaderij kunnen thans worden gerealiseerd door elektromotoren. In het verleden werd vanuit veiligheid- en betrouwbaarheidsoverwegingen veelal gekozen voor stoomturbine-aandrijvingen. Het gevolg van een overstap op elektrische aandrijvingen is dat de ratio tussen elektriciteitsverbruik en stoomverbruik op de raffinaderij verschuift, hetgeen mogelijk een synergie-effect heeft op debottlenecking van stoomsystemen en van elektriciteitsdistributiesystemen. Een toenemende vraag naar elektriciteit en een verminderd stoomgebruik kan er toe leiden dat conventionele WKK systemen minder interessant worden, terwijl proces-geïntegreerde WKK systemen (Davidse) juist meer geschikt raken voor implementatie.
- Toepassing platenwarmtewisselaar in non-fouling proces-units: De zogenaamde Packinox warmtewisselaar is een mogelijke kandidaat voor toepassing in de benzinefabriek op een raffinaderij. Dit apparaat kan in één keer de hele voorverwarmingstrein van deze eenheid vervangen of is een compacte oplossing voor een debottleneckproject op deze eenheid. De verwachting is ook dat warmte-integratie met een kleinere temperatuur-approach kan plaatsvinden, waardoor er meer warmte binnen deze eenheid blijft. Het ervaringsniveau t.a.v. dit type warmtewisselaar en specifiek voor deze toepassing verschilt per raffinaderij. Er blijkt onduidelijkheid te bestaan of een dergelijke platenwarmtewisselaar inderdaad op de benzine-

fabriek kan worden toegepast; fouling-problemen worden gevreesd door de één, enkel opportuniteiten worden gezien door de ander.

2.5 Pinch projecten

- Toevoegen extra warmtewisselend oppervlak aan bestaande warmtewisselaars: Deze optie is veelal ontstaan vanuit een gefaseerde debottlenecking. Dergelijke maatregelen (vergroting warmtewisselend oppervlak) vinden vaak plaats in een latere fase van een debottleneckingsproject en waren dus al ingecalculeerd door de betreffende raffinaderij bij aanvang van het debottleneckingsproject.
- Nieuwe process-to-process warmtewisselaars: Pinchstudies binnen de raffinaderijsector in Nederland komen veelvuldig voor. Doorgaans omvatten deze studies niet de gehele raffinaderij in één keer, maar zijn een aantal subsystemen onderzocht. Pinchprojecten met de meeste kans op daadwerkelijke realisatie zijn de projecten binnen de CDU. Bij een aantal raffinaderijen blijken deze haalbaar of zelfs inmiddels al gerealiseerd, bij de overigen blijken ze bij nader inzien toch minder aantrekkelijk. Belemmeringen voor de CDU lijken o.a. de noodzaak tot toepassing van duurere constructiematerialen voor de warmtewisselaars en "plot space" restricties. Voorts kan bij maximale warmte-integratie binnen de CDU, de ruwe olie reeds partieel verdampen voordat het gevoed wordt aan het crude fornuis, hetgeen minder wenselijk is; een pre-flash kolom zal dan additioneel nodig zijn, wat een aanzienlijke CDU modificatie betekent. Er zijn echter ook alternatieve, deels concurrerende opties toegepast waardoor een preflash kolom wordt vermeden.
- Verhoging van warmterecuperatie in de vorm van lagedrukstoom: De aantrekkelijkheid van een verhoogde (lagedruk)stoomgeneratie op basis van warmterecuperatie hangt af van hoe dit doorwerkt op het primaire stoomproductiesysteem van de raffinaderij. Indien dit geen voordelen oplevert in het primaire systeem, dan heeft een verhoogde warmterecuperatie in de vorm van stoom geen zin. Acties hieromtrent blijken enkel te worden ondernomen indien er synergie is met andere projecten c.q. bedrijfsdoelstellingen.

2.6 WKK

- Conventionele WKK configuratie: Dit is de klassieke WKK, waarbij naast elektriciteit ook warmte in de vorm van stoom wordt geproduceerd. Een dergelijke WKK vervangt veelal een stoomproductiesysteem op basis van stoomboilers (stoomketels). De grotere raffinaderijen maken reeds gebruik van WKK in de conventionele configuratie. De aantrekkelijkheid van deze vorm van WKK hangt af of de geproduceerde stoom nuttig kan worden ingezet. Vaak moet deze vorm van stoomgeneratie concurreren met interne stoomgeneratiebronnen (o.a. waterstoffabriek en FCCU) en zal de toepassing van conventionele WKK leiden tot een overschot aan stoom. Indien er geen interne grote stoomgeneratiebronnen zijn kan een conventionele WKK tot aanzienlijke efficiencyverbetering leiden. De meeste raffinaderijen omvatten reeds een conventionele WKK; het belang van "implementatie extra conventionele WKK capaciteit" voor de sector lijkt dus beperkt.
- Procesgeïntegreerde WKK: In een procesgeïntegreerde WKK wordt een deel van de "high quality" WKK-warmte direct benut voor verwarmingsdoeleinden bij de raffinageprocessen, zonder stoom als tussenmedium. Resterende WKK warmte wordt vervolgens gerecupereerd in de vorm van stoom. Deze vorm van WKK past beter bij de huidige stoombalans van de meeste raffinaderijen. Integratie met CDU lijkt het meest aantrekkelijk. Er zijn twee uitvoeringsvormen van een procesgeïntegreerde WKK. Enerzijds kunnen de hete uitlaatgassen van de gasturbine direct fungeren als verbrandingslucht voor een nageschakeld (CDU) fornuis, de zgn "repowering WKK optie", anderzijds kan de warmte van de hete turbineuitlaatgassen direct uitgewisseld worden tegen de processtromen binnen de CDU c.q. raffinaderij middels warmtewisselaars. Voor beide uitvoeringsvormen zal de grootte van de benodigde gasturbine anders zijn; de repowering WKK optie geeft een kleinere gasturbine. WKK-studies binnen de raffinaderijsector zijn legio, hetgeen het belang voor de sector weerspiegelt. Belemmeringen m.b.t. de procesgeïntegreerde WKK zijn echter:
 - Implementatie zonder debottlenecking (doorzetverhoging) van de gekoppelde raffinage-eenheid vereist een turndown van huidige fornuissystemen, hetgeen slechts beperkt mogelijk is.
 - Volledige eliminatie van een fornuis door procesgeïntegreerde WKK geeft geen problemen t.a.v. de turndown van bestaande fornuizen, maar kan tot een te grote gasturbine leiden, waarbij nog teveel (rest)warmte tot stoom dient te worden omgezet, waarvoor geen outlet is binnen de raffinaderij.
 - De "repowering WKK optie" leidt tot een kleine gasturbine, welke relatief duur en minder efficiënt is dan de grotere turbines, waardoor de economie van dit type WKK vaak ongunstig uitvalt.

Inbouw van “repowering WKK” in een bestaande CDU omgeving vereist een behoorlijke procesmodificatie. Deze optie wordt derhalve enkel gezien als “potentieel interessant” voor nieuwbouw-(CDU)-projecten en niet voor revamp-projecten.

- Er zijn concurrerende opties of projecten die rendabeler zijn. Een van de conclusies van Davidse [3] is dat schonere gasgestookte WKK economisch niet kan concurreren met vuilere conventionele kolencentrales, zoals die momenteel worden gebouwd in Nederland. Zolang de Nederlandse overheid de kolencentrales CO₂-afvang en opvang (CCS) niet verplicht stelt, zijn de totale productiekosten (€/MWh) voor de gasgestookte WKK hoger dan de kolen gestookte centrales.

Er dient opgemerkt te worden dat het besparingspotentieel dat KBC in haar geaggregeerd rapport aangeeft het potentieel exclusief de proces-geïntegreerde WKK opties is. Het geaggregeerde Davidse besparingspotentieel t.a.v. proces-geïntegreerde WKK mag daarom in principe worden opgeteld bij het KBC besparingspotentieel, mits door KBC voorgestelde maatregelen niet concurrerend zijn.

2.7 Algemene conclusies

Uit de evaluatie van de KBC/Davidse rapporten worden de volgende algemene conclusies getrokken:

- Raffinaderijen tonen enigszins een verschil in de hoeveelheid projecten (uit de KBC en Davidse rapporten) die thans in studie zijn of in studie zijn geweest. Met andere woorden; de energiebesparingsopties worden door sommige raffinaderijen meer als "ter kennisgeving" opgevat dan door andere raffinaderijen. Een mogelijke reden hiervoor kan zijn dat de inspanning uitgaat naar raffinaderij-specifieke (energiebesparings)maatregelen buiten de KBC/Davidse lijst.
- Raffinaderijen tonen verschillen in hun aandacht naar de verschillende categorieën van energiebesparingsprojecten, afhankelijk van site-specifieke factoren en ontwikkelingen t.a.v. productportfolio. Sommige opties die naar voren kwamen tijdens de bilaterale gesprekken zijn erg site-specifiek en vallen dus buiten de geaggregeerde resultaten.
- De aandacht t.a.v. projectrealisatie bij de raffinaderijen is tot nu toe voornamelijk gevestigd op "non- & low-investment projects". Bij grotere investeringen moeten de projecten eigenlijk meerdere bedrijfsdoeleinden/targets vertegenwoordigen (synergie-effecten) om de realisatie ervan te justificeren. Dit geldt met name voor gasturbine-implementatie/integratie. Deze "duurdere projecten" zijn thans in studie of zijn in studie geweest (intern en/of uitbesteed);
- Een aantal projecten is reeds verworpen puur op basis van economie, maar wordt regelmatig opnieuw geëvalueerd op basis van de dan geldende prijsstellingen.
- Het gewogen gemiddelde van het energiebesparingspotentieel van de KBC opties met een terugverdientijd kleiner dan 5 jaar is door KBC ingeschat op 13%. Herbepaling van het gewogen gemiddelde op basis van de bilaterale besprekingen resulteert in een lagere schatting van maximaal 8.3%. De bijstelling naar beneden wordt voornamelijk veroorzaakt doordat efficiencyverbeteringen door operatie onder maximale capaciteitsbenutting zijn afgetrokken (geen groeiemarkt) en diverse projecten die door KBC als rendabel waren ingeschat uiteindelijk na bestudering door de raffinaderijen technisch of economisch niet haalbaar blijken. Het herbepaalde potentieel van 8.3% moet als een maximum worden beschouwd, omdat een aantal KBC opties sinds het referentiejaar van 2006 al is uitgevoerd en de inschatting (van de raffinaderijen) is dat een aantal nog niet uitgewerkte opties een geringere besparing zullen opleveren dan door KBC ingeschat.
- Procesgeïntegreerde WKK wordt binnen de raffinaderijsector algemeen erkend als effectieve maatregel om een aanzienlijke efficiencyverhoging te bereiken. De procesgeïntegreerde- en fornuis-WKK opties uit het Davidse rapport kunnen als complementair aan het KBC rapport worden beschouwd. Het technisch haalbaar besparingspotentieel van 4.5 PJ/jaar is uit het Davidse rapport overgenomen. Er zijn echter tal van belemmeringen die de realisatie ervan vertragen, o.a. lastige inpassing binnen een raffinaderij indien het niet samenvalt met een debottlenecking (capaciteitsverhoging), de aanzienlijke investeringskosten, en het feit dat ook procesgeïntegreerde WKK nog een hoeveelheid stoom genereert, waarvoor veelal binnen de raffinaderij geen outlet is. Desalniettemin is de verwachting dat nieuwe procesgeïntegreerde WKK opties geïmplementeerd zullen worden in de periode tot 2030 in combinatie met debottlenecking- of vervangingsprojecten. De economisch

haalbare energiebesparing hiervan is ingeschat op 1.7 PJ/jaar (1.1%). Aangezien procesgeïntegreerde WKK niet onder de KBC studie valt, is deze besparing in beginsel geen overlap en mag in principe opgeteld worden bij het besparingspotentieel uit de KBC studie. In vergelijking met procesgeïntegreerde WKK leidt "repowering WKK" tot een kleinere gasturbine, welke relatief duur is en minder efficiënt, waardoor de economie van dit type WKK over het algemeen ongunstiger uitvalt.

- Indien stoomexport naar derden mogelijk (gemaakt) wordt, dan zullen er binnen de raffinaderijen meer mogelijkheden tot energie-efficiencyverbeteringen ontstaan. Leveringsgarantie, hetgeen veelal extra investeringen vergt, is echter genoemd als belangrijke belemmering.
- De score van een raffinaderij in de KBC benchmark is niet 1:1 te relateren aan de mogelijkheid om nog extra energiebesparingsprojecten te realiseren. De reden hiervoor is niet volledig duidelijk, maar kan te maken hebben met lokale omstandigheden, synergie-effecten en eventueel interne kostenstructuren.

Tabel 1 geeft een overzicht van het ingeschatte besparingspotentieel van de energiebesparingsopties uit de KBC/Davidse studies.

3 EVALUATIE VAN TECHNOLOGIEËN UIT HET ECN RAPPORT

Het ECN rapport, getiteld “Raffinaderijen naar 2030” [1], geeft een overzicht van technologieën, die beschikbaar zijn of naar verwachting voor 2030 beschikbaar komen voor de aardolieraffinage-industrie, en daarmee gepaard gaande potentiële besparingen in energiegebruik en CO₂-emissies. De mix aan technologieën, toepassingsgebieden en besparingsopties is divers: Van commercieel toegepaste en bewezen technieken tot opties die zich nog in het R&D stadium bevinden. Van opties die zich specifiek richten op energiebesparing zoals energie-integratie tot technologieën, die zich in eerste instantie op duurzaamheid en emissiereductie richten, zoals ontwaveling of CO₂ afvang en opslag.

In dit hoofdstuk worden de technologieën uit het ECN rapport [1] geëvalueerd op toepasbaarheid in de Nederlandse raffinaderijsector tegen 2030. De evaluatie is in eerste instantie uitgevoerd op hoofdlijnen en op generieke basis. De resultaten hiervan zijn gerapporteerd in een tussenrapportage [8]. Op basis hiervan zijn voor geselecteerde onderwerpen die nadere uitwerking behoeften bilaterale besprekingen met de raffinaderijen gehouden. De belangrijkste doelstelling hierbij was om in meer detail de overlap van de ECN energiebesparingstechnologieën met de besparingsopties uit KBC/Davidse studies te bepalen en de potentiële mogelijkheden voor toepassing van nieuwe technologieën tot 2030 in de raffinaderijen te bespreken.

Bij de evaluatie van technologieën uit het ECN rapport is gebruik gemaakt van de referentiebronnen die in het ECN rapport staan vermeld. Daarnaast heeft op 10 juni 2011 een overleg plaatsgevonden tussen PDC en ECN Beleidstudies, waarbij de auteurs van het ECN rapport Arjan Plomp en Pieter Kroon aanwezig waren. Tijdens het gesprek zijn het rapport en de opties en bevindingen op hoofdlijnen besproken.

In de volgende paragrafen wordt eerst op hoofdlijnen en daarna per technologie een evaluatie gegeven. Een overzicht van de technologieën uit het ECN rapport is beschikbaar in tabelvorm in Bijlage 1. Een overzicht van besparingsopties, door ECN gerapporteerd en in deze studie ingeschat besparingspotentieel, en risico's per technologie is gegeven in Tabel 1. Hierbij is uitgegaan van een totaalgebruik van 150 PJ/jaar.

3.1 Algemene bevindingen

Het ECN rapport geeft een generiek overzicht van technische verbeteringsmogelijkheden in de aardolieraffinage om de bestaande en toekomstige milieudoelstellingen te bereiken. De auteurs hebben zich daarbij gericht op een literatuurstudie op basis van openbare bronnen. Gezien de breedte van onderwerpen en het ontbreken van essentiële gegevens wordt door de auteurs niet voor alle technologieën het energiebesparingpotentieel afgeschat. Daar waar het ECN rapport wel een (energie)-besparingspotentieel vermeldt, is deze afgezet tegen een algemeen referentiekader welke in de literatuurreferenties is gebruikt.

In de hierna volgende paragrafen wordt specifiek ingegaan op de technologieën die in het ECN rapport worden behandeld. In meer algemene zin kunnen de volgende aspecten ten aanzien van het ECN rapport worden aangemerkt:

- De energiebesparingen worden afgezet tegen een algemeen referentiekader. De auteurs geven aan onvoldoende beeld te hebben van al geïmplementeerde besparingsopties en daarmee de huidige status van energie-efficiëntie van de Nederlandse raffinaderijen. De in het rapport genoemde relatieve of absolute besparingen (voor Nederland) relateren dan ook aan in de literatuur gekozen referenties, welke veelal niet representatief blijken te zijn voor de Nederlandse of de raffinaderijspecifieke situatie. Ook blijken referentiedata in een aantal gevallen gedateerd, doordat de onderliggende referenties soms ouder zijn dan het jaartal van de publicatie waarnaar in eerste instantie wordt verwezen doet vermoeden.
- Besparingsmogelijkheden zijn berekend zonder rekening te houden met belangrijke randvoorwaarden die de implementatie beïnvloeden. Een belangrijke randvoorwaarde is de terugverdientijd. Daar waar bij nieuwbouw bepaalde maatregelen rendabel zullen zijn, geldt dat bij bestaande raffinaderijen nieuwe technologieën moeten concurreren met (grotendeels)

afgeschreven installaties. Voor nieuwe installaties wordt minimaal de helft van de productiekosten gerelateerd aan kapitaalinvesteringen (47-86% [9]).

- Totale besparingen zijn over het algemeen berekend op basis van maximale implementatie en het maximaal haalbare of theoretisch besparingspotentieel, terwijl dit in de praktijk niet realiseerbaar zal blijken. Besparingsopties, zoals energie-integratie en WKK opties zijn soms gedelokaliseerd, waarbij bepaalde projecten wel en andere niet rendabel zijn, zodat de totale besparing lager uitvalt dan het berekende maximum. Het maximaal haalbare besparingspotentieel van een technologie, dat geldt voor specifieke gevallen, zal voor andere toepassingen mogelijk lager uitvallen (bijvoorbeeld *dividing wall column*). Het theoretisch besparingspotentieel, zoals bijvoorbeeld volgt uit een warmteintegratiestudie met pinchtechnologie, zal in de praktijk vrijwel nooit helemaal gehaald worden.
- Toepassing van technologieën of besparingsopties in de raffinaderij zullen in veel gevallen consequenties hebben voor andere operaties in het raffinaderijcomplex en/of productportfolio. Een voorbeeld hiervan zijn ontzwavelingstechnieken, die soms sterk verschillen in toepassingsgebied en dus gecombineerd zullen moeten worden. Dit betekent een complicerende factor in het toekennen van een energiebesparing aan een specifieke technologie of optie, omdat het effect op de raffinaderij als geheel meegenomen dient te worden. Vanwege de invloed van de raffinaderij specifieke configuratie en operatie, bemoeilijkt dit bovendien het doen van een generieke uitspraak.
- Er is een grote mate van overlap met de KBC/Davidse rapporten, voornamelijk op het gebied van warmteintegratie- en WKK-opties. Dit kan bij samenvoeging van de resultaten tot dubbeltelling leiden. In deze studie is daarom specifiek aandacht gegeven aan het bepalen van de mate van overlap tussen de ECN, KBC en Davidse studies.

3.2 Energie-integratie

Eén van de belangrijkste opties voor energiebesparing door energie-integratie genoemd in het ECN rapport is de integratie van de crude distillation unit (CDU), vacuum distillation unit (VDU) en de coker. Energiebesparing wordt gerealiseerd doordat stromen die van de ene naar de andere eenheid gaan niet langer worden afgekoeld en opnieuw opgewarmd, maar warm worden doorgestuurd. Dit levert een besparing op in het gebruik van brandstof en utilities in fornuizen en warmtewisselaars.

In het ECN rapport wordt op basis van een literatuurreferentie [7], die niet nader is geëvalueerd, een netto brandstofbesparing van 5% voor CDU-VDU integratie en 9% voor CDU-VDU-Coker integratie aangenomen. Hieruit wordt op basis van de maximale besparing van 9% en de aanname, dat 30% van het totale energiegebruik door de CDU, VDU en coker wordt vertegenwoordigd, berekend dat integratie voor Nederland een besparing van 2.7% zou kunnen opleveren.

Naast energiebesparing worden, in ieder geval bij nieuwe installaties, ook investeringskosten bespaard omdat minder fornuis- en warmtewisselaarcapaciteit is benodigd. Bij bestaande installaties is dit afhankelijk van de vraag of met de integratie een debottlenecking wordt gerealiseerd. Is dit niet het geval dan worden geen investeringskosten bespaard, omdat bestaande installaties in bedrijf blijven (met lagere belasting/doorzet) of vervangen dienen te worden hetgeen tot hogere investeringskosten leidt.

De energiebesparing door CDU-VDU en VDU-Coker integratie kent weinig overlap met de KBC studie [2]. Bij twee raffinaderijen wordt er in de KBC rapporten melding van gemaakt. Voor zover KBC een besparingspotentieel heeft gehanteerd is dit gedaan op basis van ervaring met soortgelijke studies uit het verleden.

Uit PDC's bilaterale interviews met de raffinaderijen blijkt het besparingspotentieel t.a.v. warmte-integratie tussen de CDU en VDU bij alle raffinaderijen marginaal. Integratie is voor een belangrijk deel al doorgevoerd, doordat CDU bodemaflopen doorgaans warm naar de VDU worden doorgestuurd. Daar waar dit niet wordt toegepast, geldt een scala aan redenen zoals:

- Omwille van de operabiliteit en flexibiliteit van de bedrijfsvoering wordt een tussentankbuffering noodzakelijk geacht indien frequent op verschillende voedingen wordt overgeschakeld. In die gevallen waar CDU-aflopen gekoeld worden vindt dit grotendeels al plaats met warmte-recuperatie, bijvoorbeeld door een feed/effluent warmte-uitwisseling.

- Keuze voor een alternatieve warmte-integratie, bijvoorbeeld tussen de VDU en de downstream VisBreaker-unit. Indien VDU bodemaflopen worden afgekoeld, gebeurt dit via feed/effluent warmte-uitwisseling.
- Integratie wordt bemoeilijkt door historische ontwikkeling van de site. Integratie tussen procesunits onderling is eenvoudiger implementeerbaar indien de betreffende units in dezelfde periode gebouwd zijn en er bij het ontwerp rekening mee wordt gehouden. De CDU en VDU zijn vaak van een verschillend bouwjaar, waardoor integratie achteraf technisch complexer en duurder is.
- De afstand tussen de CDU en VDU is te groot of er is ruimtegebrek om warmte praktisch te kunnen integreren.
- Zoals ook in het ECN rapport is vermeld, heeft maar één raffinaderij in Nederland (Esso) een (flexi)coker. De berekening van de energiebesparing in het ECN rapport gaat echter uit van de maximale besparing door CDU-VDU-Coker integratie (9%) voor de gehele raffinagecapaciteit, terwijl het realistischer zou zijn om bij de andere raffinaderijen uit te gaan van de lagere besparing voor CDU-VDU integratie (5% ten opzichte van de literatuurreferentie). De theoretische besparing op basis van de literatuurreferentie voor de CDU-VDU(-Coker) integratie komt dan uit op gemiddeld 5.7% en voor het totale brandstofgebruik 1.7%, op basis van een gelijke aanname dat 30% van het energiegebruik aan de CDU-VDU(-Coker) is gerelateerd.

Indien de reeds gerealiseerde integratie en de technische randvoorwaarden voor implementatie in ogenschouw worden genomen, wordt het technisch haalbare restpotentieel aan energiebesparing significant lager. Herberekening leidt tot een besparing van 0.3% van het totale energiegebruik, ofwel 0.4 PJ/jaar. Op basis van de raffinaderijspecifieke informatie wordt geconcludeerd dat investeringen om de integratie mogelijk te maken niet economisch te justificeren zijn. Het economisch haalbare besparingspotentieel is daarom op nul gesteld.

3.3 Utilities

3.3.1 Stoom-WKK

De gecombineerde opwekking of koppeling van warmte (stoom) en kracht (elektriciteit) in een gasturbinegenerator (GTG) met nageschakelde warmteterugwinningseenheid (HRSG) is een conventionele technologie met een redelijk korte terugverdientijd, die voor een belangrijk deel door de raffinaderijen in Nederland al wordt toegepast.

Deze optie genoemd in het ECN rapport overlapt met de KBC/Davidse rapporten [2,3] en wordt daarom hier niet verder behandeld.

3.3.2 Procesgeïntegreerde WKK (Fornuis-WKK)

Een andere vorm van warmtekrachtkoppeling is de koppeling van een GTG met een procesoperatie, bijvoorbeeld het fornuis van de CDU of VDU. Twee basisuitvoeringsvormen worden onderscheiden:

- Uitlaatgas van de GTG wordt gebruikt als verbrandingslucht in de fornuizen, de zogenaamde “repowering” optie
- Uitlaatgas van de GTG wordt in een warmteterugwinningseenheid (HRSG) niet alleen gebruikt voor het genereren van stoom, maar ook voor het opwarmen of verdampen van voedingstromen (naar de CDU). Naar de VDU wordt dit voor zover bekend nog niet toegepast vanwege de belemmering van vacuümoperatie.

De eerste optie staat in het ECN rapport beschreven [1], de Davidse rapporten [3] gaan met name in op de tweede optie. Voor twee raffinaderijen heeft Davidse wel de repowering optie onderzocht op economische haalbaarheid, maar verwierpt deze vanwege geringe(re) brandstofbesparing, hoge investering, en langere terugverdientijd. Repowering wordt veeleer gezien als optie voor nieuwbouw (CDU) projecten, omdat het in een bestaande CDU aanzienlijke aanpassingen van bestaande apparatuur vergt. De ECN vermelding dat repowering in Nederlandse raffinaderijen eigenlijk niet voorkomt is onjuist.

Hoewel de repowering optie uit het ECN rapport in feite geen overlap toont met het gros van de Davidse rapporten zijn de besparingsopties niet additief. M.a.w. het besparingspotentieel t.a.v. repowering uit het ECN rapport mag niet opgeteld worden bij het besparingspotentieel voor procesgeïntegreerde WKK uit de Davidse rapportages, omdat ze niet tegelijk kunnen worden uitgevoerd. Er is gekozen om het door Davidse gerapporteerde technisch haalbaar besparingspotentieel voor “proceswarmte WKK” aan te

houden van 4.5 PJ/jaar, zie de overzichtstabel (Tabel 1). Op basis van de bilaterale overleggen wordt ingeschat dat hiervan 1.7 PJ/jaar economisch rendabel gerealiseerd kan worden in combinatie met debottlenecking of vervanging van fornuizen.

Een belangrijke randvoorwaarde voor implementatie van (procesgeïntegreerde) WKK is dat de rentabiliteit voldoende is in vergelijking met alternatieve opties of projecten, zoals elektriciteit geproduceerd in conventionele kolencentrales. Zie ook paragraaf 2.6.

3.4 Destillatie

3.4.1 Preflash drum/column

Het opereren van een voorverdampingseenheid (preflash column/drum) voor de CDU biedt een mogelijkheid om een energiebesparing in het fornuis voor de CDU te realiseren. Dit wordt gerealiseerd door een deel van de voeding (lichte destillaten) door warmteintegratie of met behulp van restwarmte al voorafgaand aan het fornuis te verdampen en af te scheiden. De technologie is bewezen en wordt in de praktijk toegepast. In het ECN rapport wordt ten opzichte van een standaard CDU configuratie een energiebesparing van maximaal 19% overgenomen uit een literatuurreferentie [11].

Met betrekking tot deze optie en de in het ECN rapport genoemde besparing kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt:

- Een preflash drum/column is vooral interessant indien naast energiebesparing ook een raffinagecapaciteitsuitbreiding wordt nagestreefd. Indien de raffinagecapaciteit gelijk blijft is het afhankelijk van de turndowncapaciteit van fornuis en CDU of, en in welke mate, de optie kan worden geïmplementeerd.
- Door installatie van een preflash column en in mindere mate een preflash drum worden meer middeldestillaten geproduceerd. Deze verandering in productportfolio moet aansluiten bij de bedrijfsstrategie en marktomstandigheden.
- De preflash optie dient feitelijk gezien te worden in combinatie met de CDU optimalisatie (paragraaf 3.4.3). KBC noemt voor twee raffinaderijen de optie van een preflash kolom in termen als “further CDU optimisation will likely require a pre-flash column” of “a preflash column might be part of the CDU optimisation projects”, maar het is onduidelijk hoe KBC het besparingspotentieel dat hiermee gemoeid is heeft verdisconteerd in haar uiteindelijk overall energiebesparingspotentieel van de onderzochte raffinaderij. Een aantal raffinaderijen (ongeveer de helft van de raffinagecapaciteit) blijkt reeds te beschikken over een preflash kolom of preflash vat, een aantal raffinaderijen heeft in CDU optimalisatie projecten de noodzaak voor een dergelijke kolom omzeild door concurrerende energiebesparingsmaatregelen. Belemmeringen zijn er gemeld t.a.v. plot-space restricties en gemoeide investering.

Het restpotentieel dat te verwachten is op het gebied van de toepassing van preflash drums/columns wordt lager ingeschat dan vermeld in het ECN rapport. Uitgaande van de literatuurreferentie van 19% besparing en de aanname dat 15% van het totale energiegebruik gerelateerd is aan de CDU, wordt een maximaal haalbare (technisch realiseerbare) energiebesparing van 2 PJ/jaar (1.3%) berekend. De werkelijke besparing zal lager uitvallen, omdat de energiebesparing van reeds geïmplementeerde concurrerende maatregelen moet worden afgetrokken. Uit de bilaterale besprekingen is naar voren gekomen dat in geen van de gevallen de economisch rentabiliteit van de preflashtechnologie voldoende is, waardoor het economisch haalbare besparingspotentieel op nihil wordt geschat.

3.4.2 Dividing wall column

De dividing wall column is een procesintensificatietechniek, waarbij twee destillatiekolommen, die conventioneel in serie een voedingstroom in drie (of meer) productstromen scheiden, worden geïntegreerd in één kolom. De technologie is in het bijzonder interessant voor die toepassingen waarbij de middelste destillatiefractie de grootste is. Belangrijkste voordelen zijn lagere kapitaalkosten en besparing in operatiekosten (energie). Een ander voordeel van de technologie is dat deze minder plot-space vergt, wat ook interessant is voor bestaande raffinaderijen.

ECN merkt terecht op dat de technologie voornamelijk geschikt en bewezen is voor de lichte fracties en producten. Het is echter de verwachting dat richting 2030 het aantal toepassing zal toenemen, mogelijk ook voor destillatie van zwaardere fracties.

De door ECN genoemde energiebesparing van 30% is een getal dat typisch in de literatuur wordt genoemd als energiebesparing voor de dividing wall column technologie. Echter, de besparing is afhankelijk van de toepassing en wordt over het algemeen gezien als een maximum.

Toepassing van een dividing wall column in de bestaande raffinaderij is over het algemeen geen economisch rendabel project omdat de dividing wall column twee bestaande kolommen vervangt. De technologie zal dus alleen in beeld komen bij debottlenecking of capaciteitsuitbreiding, of bij noodzakelijke vervanging van apparatuur. Daarnaast wordt door de raffinaderijen de beperking in operatievrijheden als belangrijk nadeel van dividing wall column technologie gezien. Gezien de lage economische rentabiliteit en de mogelijkheid dat een vervangings- of debottleneckingvraag zich voordoet als laag wordt ingeschat, worden de economisch haalbare energiebesparingsmogelijkheden voor bestaande raffinaderijen en daarmee voor de Nederlandse situatie als zeer gering ingeschat.

3.4.3 Optimalisatie CDU

In het ECN rapport wordt een model aangehaald van Gadalla et al. [12], waarmee een besparing van 22% op de emissie wordt berekend door optimalisatie van procescondities van de crude destillatie-eenheid (CDU). Dit is zonder integratie met een gasturbine generator. De besparingen worden verkregen door de volgende opties:

- Voorverwarming van de CDU voeding
- Warmteterugwinning / lagere temperatuursverschil over de pump-arounds
- Optimalisatie reflux ratio
- Optimalisatie (strip)stoom

Deze opties zijn in grote mate overlappend met de raffinaderij specifieke KBC rapporten. Echter, bij de raffinaderijen waar KBC niet expliciet over CDU pinch-projecten spreekt, heeft PDC uit haar bilaterale interviews met deze raffinaderijen de conclusie kunnen trekken dat er bij die raffinaderijen weinig restpotentieel meer is qua energiebesparing binnen de CDU. Elke raffinaderij heeft inmiddels zijn eigen Energie Management Systeem en een advanced control systeem (op de CDU). Ook heeft inmiddels iedere raffinaderij het fouling aspect min of meer onder controle (met name het management van on-line cleaning van warmtewisselaars). Dit alles heeft reeds tot een significante energiebesparing geleid. ECN's referentie t.a.v. het energiebesparingspotentieel gemoeid met het optimaliseren van de procesvoering en procescondities is daarom niet representatief voor de Nederlandse situatie.

Het besparingspotentieel voor de Nederlandse raffinaderijsector vermeld in het ECN rapport mag hierdoor niet opgeteld worden bij het KBC/Davidse potentieel.

3.4.4 Heat Integrated Distillation Columns (HIDiC)

Warmtegeïntegreerde destillatiekolommen (HIDiC's) bieden de mogelijkheid om energie te besparen ten opzichte van conventionele kolomconfiguraties. Uit de resultaten van de verschillende casestudies gedaan door Mascia et al. [13] voor de light-ends sectie van de CDU volgt dat het energiegebruik van de meest gunstige HIDiC configuratie ca. 30% lager is dan die van de standaardconfiguratie met drie kolommen in serie.

Zoals ook vermeld in het ECN rapport is toepassing van HIDiC technologie relatief complex, zeker voor zwaardere fracties. De toepassing van HIDiC technologie is bovendien kapitaalsintensief met een lange terugverdientijd tot gevolg. Gelijk aan de dividing wall column technologie (sectie 3.4.2) zal in bestaande raffinaderijen de mogelijkheid tot implementatie afhangen van andere factoren dan alleen energiebesparing. De energiebesparingsmogelijkheden tot 2030 in de bestaande Nederlandse raffinaderijen worden als laag ingeschat.

Binnen de Nederlandse raffinaderijsector heerst de indruk dat het HIDiC concept zeer bruikbaar is voor nieuwbouw raffinaderijen (veel scheidingskolommen met optimale warmte-integratie). Een aantal geeft te kennen dat dit reeds realiteit is bij hun nieuwe raffinaderij(en) elders in de wereld. Voor de Nederlandse situatie is de bouw van een nieuwe raffinaderij echter ondenkbaar.

3.4.5 Progressieve destillatie

Progressive Distillation is de extreme vorm van warmteintegratie tussen de CDU en VDU, benzinefractionering, naphtha stabilizer en gas plant. Ook wordt oververhitting van lichte fracties vermeden. De door ECN geciteerde publicatie van Szklo & Schaeffer [14] noemt een besparing van 30% op basis van een referentie uit 1998, welke niet nader is bestudeerd. Szklo & Schaeffer geven aan dat de optie feitelijk alleen interessant is voor nieuwbouw en dat progressieve destillatie voor bestaande raffinaderijen (in hun geval voor Brazilië) het geen geschikte technologie is. De door ECN genoemde 65% besparing uit een andere referentie kon in het kader van deze studie niet nader worden geëvalueerd, maar gezien de nog verder gaande fractionering en thermische en mechanische integratie lijkt deze technologie, indien toepasbaar, ook alleen geschikt voor nieuwbouw.

Progressieve destillatie en integratie van de CDU en VDU is als concrete optie niet gelijk aan de KBC warmteintegratieopties rond de CDU, maar is wel deels een alternatief hiervoor. Hierdoor kan dubbeltelling optreden.

De conclusie is dat progressieve destillatie, ook in de geciteerde publicaties, niet als interessante energiebesparingstechnologie voor bestaande raffinaderijen wordt gezien. Besparingen tot 2030 in de bestaande Nederlandse raffinaderijen worden dan ook, tenzij ingeval van nieuwbouw of uitbreiding, als nihil ingeschat.

3.4.6 Whole crude treatment / Thermal cracking process

In plaats van de ruwe olie eerst te scheiden in de CDU-VDU, zou een thermisch kraakproces kunnen worden toegepast. Deze technologie kraakt, ontzwavelt en scheidt de grondstoffen in een voorstap, waardoor netto besparingen in energiegebruik worden verkregen. Volgens het artikel van Szklo & Schaeffer [14] dat door ECN als referentie wordt aangehaald, is op basis van een referentie uit 1999 het energiebesparingspotentieel 65 MJ per vat olie of 17% voor de Braziliaanse situatie. Szklo & Schaeffer vermelden er wel duidelijk de kanttekening bij dat volledige vervanging van destillatiekolommen in bestaande raffinaderijen niet realistisch is en een operatie is die zeer hoge kosten met zich meebrengt.

De technologie is niet bewezen, maar het valt niet uit te sluiten dat in de (verre) toekomst er raffinaderijen op deze basis zullen worden gebouwd. Voor de Nederlandse situatie (geen groeiemarkt, geen nieuwe raffinaderijen) is de technologie niet interessant. De mogelijkheid tot energiebesparing tot 2030 voor de Nederlandse situatie wordt op nihil geschat.

3.5 Coker residue gasification

De technologie die in het ECN rapport voorgesteld wordt is om het vacuüm residu van de destillatie-units thermisch in plaats van katalytisch te behandelen. Hierbij worden cokes vergast met stoom en zuurstof tot waterstof en worden problemen met onzuiverheden die de levensduur van katalysatoren bedreigen vermeden. Zeker als de ruwe aardolie op de wereldmarkt zwaarder wordt, wordt dit gezien als financieel aantrekkelijke optie. Er wordt niet ingegaan op de consequenties op het energiegebruik. Dit is ook niet eenvoudig aan te duiden omdat een duidelijk verschil in waterstofbalans en productportfolio ontstaat.

In het algemeen vertoont de Nederlandse raffinaderijsector vooralsnog een behoorlijke outlet qua zware fracties (residue/stookolie). Slechts twee raffinaderijen passen opwerking toe via Flexicoker technologie of hydrocracking technologie. De raffinaderijsector betwijfelt echter of zoals de ECN studie aanneemt, het gebruik van zware stookolie (bunkerfuel) door de scheepvaart op termijn verboden gaat worden. Dit vraagt namelijk zeer grote inversteringen van de raffinaderijsector en brengt tevens hogere kosten voor de scheepvaart met zich mee. Een met dit issue verbonden aspect is het terugdringen van het zwavelgehalte in bunkerfuels. Al met al zal een toename aan residueconversieactiviteiten een negatieve impact hebben op het energieverbruik van de raffinaderijsector.

3.6 Fluid Catalytic Cracking

3.6.1 FCC Downer reactor

Een nieuw FCC concept is die van de Downer reactor, waarbij de katalysator en gasstroom met de zwaartekracht mee omlaag stroomt, in plaats van de conventionele situatie waarbij beide omhoog stromen. In het ECN rapport worden diverse voordelen genoemd.

In tegenstelling tot hetgeen vermeld in het ECN rapport wordt FCC technologie nog steeds toegepast in Nederland. Investerings t.a.v. de FCC-units worden echter niet verwacht; het is waarschijnlijker dat in een krimpende benzinemarkt bestaande FCC units worden gesloten of vervangen door hydrocracker units, dan worden vervangen door nieuwe FCC technologie. De te verwachten energiebesparing omtrent FCC units voor de lange termijn is daardoor eigenlijk nihil. De huidige operationele FCC units bij de Nederlandse raffinaderijen zijn – naar eigen zeggen – al goed warmte-geïntegreerd.

3.6.2 Millisecond catalytic cracking

Millisecond Catalytic Cracking is een technologie waarbij minder bijproducten worden gemaakt door toepassing van korte contacttijd.

Gelijk aan de FCC Downer reactor wordt deze technologie voor de Nederlandse situatie als niet relevant beschouwd omdat naar verwachting FCC in de toekomst geen interessante technologie voor de Nederlandse raffinaderijsector is. Eventuele besparingsmogelijkheden door toepassing van millisecond catalytic cracking leveren naar verwachting dus geen besparing op in Nederland tegen 2030.

3.7 Alkylatie

Diverse verbeteringen en technologieën worden voorgesteld:

- Vaste katalysatoren: Door diverse partijen en ontwikkelaars wordt onderzoek gedaan naar de vervanging van zwavelzuur of waterstoffluoride als katalysator door vaste katalysatoren voor isobuteenalkylatie. Dit gebeurt met name omwille van veiligheids-, milieu- en kostenoverwegingen. Mogelijke energiebesparing, die met de vaste-katalysator technologie gepaard gaat, is niet nader onderzocht of beschreven. De technologieën zijn niet commercieel beschikbaar, maar het valt niet uit te sluiten dat dit wel gebeurt in de periode tot 2030.
- Ionic liquids: In plaats van zwavelzuur (of HF) zijn zure ionic liquids toegepast in de alkylatieunit. Een 65 kton per jaar demonstratieproject zou in China zijn uitgevoerd. Er zijn geen verdere gegevens bekend en een nadere evaluatie is (nog) niet uitgevoerd.
- ALKYCLEAN: Het ALKYCLEAN proces van Albemarle, ABB Lummus Global en Neste Oil maakt gebruik van een vaste zure katalysator. De technologie zou commercieel beschikbaar zijn, maar is voor zover bekend nog niet toegepast. Er worden geen details in het ECN rapport vermeld. Er is geen verdere evaluatie uitgevoerd.
- Beperking fluorverlies: Het ECN rapport beschrijft diverse technologieën om fluorverlies bij gebruik van HF als katalysator te verminderen. De ontwikkelingen geschieden vanuit milieuoogpunt en zullen eerder leiden tot een meer- dan een minder gebruik aan energie. De algemene verwachting is dat richting 2030 er goede alternatieven voor HF op de markt komen, waardoor de importantie van de technologieën die zich richten op het beperken van fluorverlies beperkt mag worden verondersteld.

Slechts één raffinaderij in Nederland past alkylatie toe. Alternatieve technologieën zijn voornamelijk ontwikkeld vanuit HSE oogpunt en niet zozeer omwille de energie-efficiency. Vervangende technologie kan nog niet beschouwd worden als proven technology, maar ze worden ze door de betreffende raffinaderij regelmatig gescreend. Besparingen, indien deze al kunnen worden gerealiseerd, zijn beperkt vanwege de beperkte toepassing van alkylatie en de krimpende benzinemarkt.

3.8 Hydrocracking

3.8.1 Gebruik nieuwste katalysatoren

De hydrocracking-technologie, die in Nederland op grote schaal wordt toegepast, is nog steeds in ontwikkeling, vooral op het gebied van katalysatoren. Verbetering en optimalisatie van katalysatoren leidt tot verbeterde levensduur, grotere doorzet, of laat het toe om zwaardere, zwavelrijkere en meer verontreinigde voeding te behandelen. Mogelijk laten nieuwe katalysatoren het ook toe om meer energie-efficiënt te hydrocracken, maar het ECN rapport bevat hierover geen gegevens.

Hydrocracking van middelzware fracties is een belangrijke conversiestap voor de Nederlandse raffinaderijsector. De verwachting is dat ontwikkelingen op katalysatorgebied een besparing kan opleveren in het waterstofverbruik voor hydrocracking en dat met deze ontwikkelingen ook energiebesparingen gemoeid zijn.

3.8.2 (HC)₃ technologie

Dit betreft één van de nieuwe gedispergeerde katalysatorconcepten voor hydrocracking, die in ontwikkeling zijn. (HC)₃ technologie wordt gezien als nieuwe hydrocracking technologie met veel potentie, maar de technologie is nog in ontwikkelingsfase. Concrete gegevens over energiegebruik, absoluut of relatief ten opzichte van conventionele hydrocracking technologie, ontbreken.

3.8.3 Residual hydroconversion

Het ECN rapport beschrijft dat hydroconversion of hydrocracking van raffinageresiduen voordelen biedt ten opzichte van vergassing. De technologie is over het algemeen duurder, maar levert ook waardevollere producten op. Er wordt geen uitspraak gedaan over het effect op de energie-efficiëntie.

Hydrocracking van zware fracties komt nauwelijks voor binnen de Nederlandse raffinaderijsector; de meeste raffinaderijen geven te kennen nog voldoende outlet te hebben voor hun zware fracties in de vorm van bunkerfuel voor de scheepvaart. Conversie van zware fracties zal onherroepelijk leiden tot een toename in het energiegebruik van de raffinaderijen.

3.9 Ontzwaveling

Het ECN rapport beschrijft een reeks technologieontwikkelingen op het gebied van ontzwaveling:

- Hydrocracking van stookolie en omschakeling naar aardgas als brandstof
- Verbetering HDS door opvoeren reactiecondities
- Verbetering HDS door nieuwste generatie katalysatoren
- SynSat technologie
- S-Brane technologie
- PLEX technologie
- Ebullated bed reactors
- CDTech
- SulphCo technologie
- Overige technologieën
 - GT-DeSulf (extractieve distillatie)
 - OATS (thiolen reageren met olefinen tot zwaardere componenten)
 - Speciale oxidant (Petro Star, UniPure)
 - Fotochemische oxidatie
 - Precipitatie met charge-transfer complexen
 - IRVAD (adsorptie, Balck&Veatch)
 - S-Zorb (adsorptie via elementair zwavel, Phillips)
 - Whole crude hydrotreatment (zie paragraaf 3.4.6)

Overwegend zijn bovenstaande technologieën en ontwikkelingen op het gebied van nieuwe ontzwavelingstechnieken genoegzaam bekend bij de Nederlandse raffinaderijen of bij centrale research en technologieafdelingen. Er wordt echter betwijfeld of een aantal van de nieuwe ontzwavelings-technologieën wel daadwerkelijk functioneert. Over het algemeen kiest men daarom bij nieuwbouw of vervanging toch voor conventionele HDS technologie. Wel dient hierbij opgemerkt te worden dat deze dan met maximale (interne) warmte-integratie ontworpen worden. Het algemene beeld bij de raffinaderijen is dat energiebesparing in principe geen driver is voor R&D op ontzwavelingstechnologieën. Aan een eventuele energiebesparing gemoeid met deze nieuwe technologieën wordt getwijfeld.

Het ECN rapport vermeldt geen energiebesparing die met nieuwe of verbeteren ontzwavelings-technologieën zouden kunnen worden gehaald. De auteurs gaven tijdens de bespreking aan dat zij hiervoor onvoldoende gegevens tot hun beschikking hadden. Bepaling van de energiebesparing is hoe dan ook geen eenvoudige opgave:

- Omdat veel technologieën slechts voor een beperkte fractie toepasbaar zijn, is een combinatie van technologieën noodzakelijk om tot geschikte ontzwavelingsconfiguraties te komen. Dit maakt de toekenning van energiegebruiken per technologie niet evident.
- Een aantal technologieën is nog in een vroeg ontwikkelingsstadium, waardoor gegevens niet beschikbaar zijn.

- De keuze van de ontzwavelingstechniek is van invloed op de productkwaliteit, zoals het octaangetal van benzine. Eenduidige vergelijking van technologieën of technologiecombinaties wordt daardoor bemoeilijkt.

In het kader van de evaluatie op hoofdlijnen is geen verdere evaluatie gedaan naar het energiebesparingspotentieel van ontzwavelingstechnologieën.

3.10 Waterstofproductie

3.10.1 Membraantechnologie

Diverse leveranciers leveren membraantechnologie waarmee waterstof uit reststromen met een waterstofgehalte van minimaal 25% kan worden teruggewonnen. Over het algemeen is deze technologie energie-efficiënter dan productie van waterstof uit methaan door reforming, maar de energiebesparing en rentabiliteit is afhankelijk van de toepassing. Er worden in het ECN rapport dan ook geen concrete besparingscijfers genoemd.

Membraantechnologie voor waterstofterugwinning wordt door de raffinaderijsector in Nederland gezien als een bewezen technologie. Een aantal raffinaderijen beschikt zelfs al over membraanunits om H₂ uit restgassen terug te winnen. Ook wordt in een enkel geval een H₂-rijke stroom verder verrijkt in H₂ middels membranen om recycle ervan mogelijk te maken, maar voor deze toepassing is Pressure Swing Adsorptie een concurrerende en meer gangbare technologie. Als alternatief worden waterstofrijke stromen geïntegreerd met de waterstoffabriek.

Het directe energiebesparingspotentieel voor de raffinagesector hangt af in hoeverre deze sector haar eigen waterstof produceert of betreft van derden. Het potentieel voor een raffinaderij hangt natuurlijk ook af of er kandidaatstromen zijn, met name reststromen met lage concentratie H₂. Vooralsnog wordt geconcludeerd dat resterende mogelijkheden relatief beperkt zijn.

3.10.2 CO₂ afvang en opslag

CO₂ afvang en opslag (CCS) draagt bij aan de emissiereductie van CO₂, maar leidt altijd tot verhoging van het energiegebruik. Concrete cijfers worden hiervoor niet genoemd. De technologie is voor een groot deel nog in ontwikkelingsfase en relatief duur in vergelijking met CO₂-emissieprijzen. Er wordt verwacht dat de interesse in CCS technologie in de toekomst groter wordt als de technologie goedkoper wordt en de CO₂-emissieprijzen stijgen.

3.11 Zwavelemisssies

Het ECN rapport beschrijft technologieën en ontwikkelingen voor het afvangen van zwavel. Deze end-of-pipe technologieën zijn gericht op emissiereducties en niet op energiebesparing. Energiebesparingen voor Nederland zijn niet te verwachten.

3.12 Afvalwaterbehandeling

Het ECN rapport behandelt diverse technologieën en technologische ontwikkelingen op het gebied van afvalwaterhergebruik en behandeling, zoals het hergebruik van waswater, effectievere beluchting van afvalwater (Linde Solvox) en het effectief reinigen van procesinstallaties.

Door hergebruik of behandeling met hogere efficiëntie is energiebesparing mogelijk, maar het energiegebruik voor afvalwaterbehandeling is relatief laag zodat mogelijke besparingen gering zullen zijn.

3.13 Ander studies

Het ECN rapport gaat in op energiebesparingen en emissiereducties in andere studies, waaronder:

- KBC [15]
- Ecofys-IPTS, SERPEC-CC project [16]
- ECN Optiedocument [17]

De huidige studie beperkt zich tot de beoordeling van de toepasbaarheid van de technologieën uit het ECN rapport en de bepaling of, en onder welke voorwaarden, de ECN voorstellen kunnen worden

overgenomen door de raffinaderijen tegen 2030. In dit kader is geen verdere analyse gemaakt van andere, in het ECN rapport genoemde, studies op het gebied van energiebesparing en emissiereductie.

3.14 Nieuwe/andere raffinageconcepten

Op basis van een artikel van Chen [9] gaat het ECN rapport in op totaal nieuwe raffinaderijconcepten. De toepasbaarheid en relevantie voor de bestaande raffinaderijen in Nederland is gezien de hoge kosten en risico's op het eerste gezicht gering. Er wordt niet concreet ingegaan op mogelijke energiebesparingen die uit alternatieve raffinaderijconcepten zouden kunnen voortvloeien.

Daarnaast wordt ingegaan op vergassing van cokes en het alternatief van hydroconversion / hydrocracking, zie paragraaf 3.8.3.

3.15 Biobrandstoffen

Integratie van biobrandstoffen in conventionele raffinaderijen is een belangrijke mogelijkheid om de "carbon footprint" te verlagen. Het ECN rapport geeft een algemeen overzicht van technologieën voor productie van biobrandstoffen. Een aantal daarvan worden normaliter niet door de raffinaderij toegepast, zoals:

- Bioethanol
- Biodiesel (FAME)
- Biobrandstoffen uit algen

Andere technologieën kunnen (mogelijk) wel in de raffinaderij worden geïntegreerd:

- bio-ETBE: door bioethanol te gebruiken als grondstof bij de ETBE productie. Er wordt geen groot verschil verwacht in de operatie ten opzichte van normale ethanol.
- Biodiesel (NExBTL): Biodiesel wordt geproduceerd door hydrotreatment van plantaardige olie. Hoewel duurzamer in vergelijking met het conventionele proces is meer waterstof en dus ook meer energie gemoeid met het gebruik van bio-grondstoffen.
- Pyrolyse van biomassa tot vloeistoffen en gassen
- Vergassing van biomassa tot synthesegas/waterstof

De technologieën zijn voornamelijk gericht op verduurzaming en niet op energiebesparing. Over het algemeen is de verwachting dat gebruik van biograndstoffen het energiegebruik zal toenemen, bijvoorbeeld door een hogere waterstofconsumptie. Toepassing van biograndstoffen in bestaande installaties is niet altijd goed mogelijk vanwege beperkte mogelijkheden om operatiecondities van apparatuur aan te passen aan de alternatieve grondstoffen.

4 CONCLUSIES

Op basis van rapporten van ECN, KBC en Davidse is een studie uitgevoerd naar het praktisch haalbaar verbeterpotentieel van de Nederlandse raffinaderijsector tegen 2030.

De technologieën uit het ECN rapport van december 2011 zijn in eerste instantie geëvalueerd op generieke basis en na tussenrapportage zijn de belangrijkste in meer detail met de raffinaderijen besproken in vertrouwelijke bilaterale besprekingen. De nadruk is gelegd op het inschatten van de mogelijkheden voor toepassing van de technologieën in de Nederlandse raffinaderijen en het bepalen van overlap met de KBC/Davidse studies. Ook is daar waar enigszins mogelijk het besparingspotentieel kwantitatief ingeschat.

Aan de hand van de evaluatieresultaten zijn de technologieën in een aantal klassen onderverdeeld:

1. Technologieën, die in meer of mindere mate overlap vertonen met de KBC/Davidse studies.
 - Energie-integratie van CDU-VDU-Coker
 - Stoom-WKK
 - Fornois-WKK
 - Preflash drum/column
 - Optimalisatie destillatie-eenheid (CDU)
2. Technologieën die feitelijk alleen zinvol zijn bij nieuwbouw. Er valt dan ook geen besparing te verwachten voor bestaande raffinaderijen in Nederland tot 2030, tenzij om andere redenen besloten wordt tot vervanging of nieuwbouw
 - Progressive distillation (multi-column)
 - Whole crude treatment
 - Nieuwe raffinageconcepten
3. Verbeteringen van technologieën, die (in de nabije toekomst) niet interessant zijn voor de Nederlandse situatie.
 - FCC Downer reactor
 - Millisecond catalytic cracking
4. Technologieën die mogelijkheden (zouden kunnen) bieden tot verbetering van de energie-efficiëntie.
 - Dividing wall column
 - Heat integrated Distillation Columns (HIDiC)
 - Waterstof productie – membraantechnologie
5. Technologieën, die weinig, geen of negatieve energiebesparing opleveren, of waarbij op voorhand niet duidelijk is of zij een energiebesparing kunnen opleveren.
 - Afvalwaterbehandeling – hergebruik waswater, effectievere beluchting, effectief reinigen van procesinstallaties
 - Coker - Residue gasification
 - Alkylatie – vaste katalysatoren, ionic liquids, ALKYCLEAN
 - Hydrocracking – gebruik nieuwste katalysatoren, (HC)₃ technologie, residual hydroconversion
 - Ontzwaveling – diverse technieken
 - Alkylatie – beperking fluorverlies
 - CO₂ afvang en opslag (CCS)
 - Zwavelrecovery / emissiereductie
 - Biobrandstoffen

Van de technologieën vermeld in het ECN rapport is slechts een geringe extra energiebesparing te verwachten tot 2030 ten opzichte van de KBC/Davidse studies, tenzij raffinaderijen tot debottlenecking, vervanging of nieuwbouw besluiten. De belangrijkste redenen hiervoor zijn:

- De voorgestelde energiebesparingstechnologieën hebben een significante overlap met de KBC en Davidse studies.
- Het door ECN gehanteerde referentiekader voor afschatting van het besparingspotentieel is veelal niet representatief voor de actuele situatie bij de Nederlandse raffinaderijen, omdat voorgestelde technologieën of verbeteringsopties voor een belangrijk deel al zijn doorgevoerd.

-
- Raffinaderijen in het verleden hebben gekozen voor alternatieve energiebesparingsmaatregelen en warmteintegraties, die concurreren met voorgestelde opties. Hierdoor is het werkelijke besparingspotentieel lager en wordt de economische haalbaarheid negatief beïnvloed.
 - Diverse geavanceerde technologieën zijn alleen interessant bij nieuwbouw en niet economisch haalbaar in bestaande raffinaderijen.
 - Een groot aantal technologieën is primair gericht op verbetering van de milieueffecten en verduurzaming en levert geen directe energiebesparing op.

Herbepaling van het totaal aan economisch haalbare energiebesparingsopties op basis van de getallen in Tabel 1 komt uit op 9.4%. Hierbij dient aangetekend te worden dat optelling wordt bemoeilijkt doordat ook minimum en maximum getallen worden vermeld. Er zijn bovendien nog andere (energie)besparingsoptie, die buiten de scope van deze studie vallen.

REFERENTIES

1. A.J. Plomp, P. Kroon, "Raffinaderijen naar 2030", ECN rapport ECN-E—10-064, december 2010.
2. KBC studie "Energy Benchmarking of Dutch Refineries", VNPI Summary Report, mei 2008 en onderliggende raffinaderij-specifieke rapporten
3. H. Davidse, "Onderzoek naar het groeipotentieel van warmtekrachtkoppeling in de Nederlandse aardolieraffinagesector en de daarmee te realiseren brandstofbesparing en CO₂-emissiereductie", juli 2010 en onderliggende raffinaderij-specifieke rapporten.
4. PDC offerte "Consolidatie Procesverbeteringen Raffinaderijen 2030", 2 december 2010
5. H. Vleeming, "Consolidatie Procesverbeteringen Raffinaderijen 2030 - Algemene uitgangspunten voor de studie", PDC memorandum, 4 mei 2011.
6. H. Vleeming en P. Hinderink, "Consolidatie procesverbeteringen Raffinaderijen 2030 – Voorlopige samenvatting ten behoeve van de voorstudie door Berenschot", PDC rapport, 30 september 2011.
7. PDC rapport, "Consolidatie procesverbeteringen Raffinaderijen 2030 - Evaluatie raffinaderij-specifieke KBC en Davidse rapporten. Geaggregeerd resultaat", 1 juni 2011
8. PDC rapport, "Consolidatie procesverbeteringen Raffinaderijen 2030 - Evaluatie ECN rapport "Raffinaderijen naar 2030", 15 juni 2011.
9. N.Y. Chen, "An environmentally friendly oil industry?", Chemical Innovation, 2001, 31(4), p. 10-21.
10. Z. Milosevic and A. Rudman, "Energy integrated refinery of the future", Oil Gas-European Magazine, 2009, 35(2), p. 86-90.
11. M. Errico, et al., "Energy saving in a crude distillation unit by a preflash implementation", Applied Thermal Engineering, 2009, 29(8-9), p. 1642-1647.
12. M. Gadalla, et al., "Estimation and reduction of CO₂ emissions from crude oil distillation units.", Energy, 2006, 31(13), p. 2398-2408.
13. M. Mascia, et al., "Design of heat integrated distillation systems for a light ends separation plant.", Applied Thermal Engineering, 2007, 27(7), p. 1205-1211.
14. A. Szklo, R. Schaeffer, "Fuel specification, energy consumption and CO₂ emission in oil refineries", Energy, 2007, 32(7), p. 1075-1092.
15. KBC, "Energy Benchmarking of Dutch Refineries - VNPI Summary Report", KBC studie 102706, 2008. www.vnpi.nl
16. M. Overgaag, et al., "Sectoral Emission Reduction Potentials and Economic; Costs for Climate Change (SERPEC-CC); Industry & refineries sector", Ecofys/IPTS, Utrecht, 2009.
17. B.W. Daniëls en J.C.M. Farla, "Optiedocument energie en emissie 2010/2020", ECN-C--05-105 / MNP 773001038, ECN, Petten, 2006.

BIJLAGE 1: OVERZICHT VAN DE TECHNOLOGIEËN UIT HET ECN RAPPORT

Selectie van een criterium is in de tabel aangegeven met "X". Haakjes "(X)" geven aan dat er een onzekerheid bestaat. "-" betekent "niet". Een vraagteken "?" betekent "onbekend".

Nr.	§	Categorie	Technologie	Omschrijving	Opmerking	Besparing (ECN rapport)	Ontwikkelingsfase			
							Lab	Pilot	Demo (large scale)	Commercial
1	3.2	Energie-integratie	Integratie CDU-VDU-Coker	voorkomen van afkoelen en weer opwarmen van stromen tussen de eenheden --> verminderd fornuis/WW-capaciteit	CAPEX besparing door lagere benodigde fornuis- en WW-capaciteit	2.7% (30% 9%) 0.25 MtonCO2	X	X	X	X
2	3.3	Utilities	Stoom-WKK	Gecombineerde opwekking in een GTG + HRSG van elektriciteit en stoom	Stoom-WKK wordt al toegepast	0.5 MtonCO2 (ongecorrigeerd voor bestaande WKK)	X	X	X	X
3	3.3	Utilities	Fornuis-WKK	Gecombineerde opwekking in een GTG van elektriciteit en hete verbrandingslucht voor fornuis	hogere TVT dan Stoom-WKK (6 ipv 4 jaar)	0.2 MtonCO2 (potentieel factor 2-3 hoger = incl. andere processtapen)	(X)	X	X	X
4	3.4	Destillatie	Preflash drum/column	Preflash column voor CDU verwijderd lichte componenten	toename middeldestillaten	19% E-besparing in CDU fornuis	X	X	X	X
5	3.4	Destillatie	Dividing wall column	Integratie van 2 destillatiekolommen in één door plaatsen van verticale scheidingswand	toepassing voor lichtere fracties mogelijk, voor zwaardere niet bewezen	E-besparing 30% t.o.v. conventionele techniek	X	X	X	(X)
6	3.4	Destillatie	Optimalisatie destillatie-eenheid	Wijziging procescondities om energievraag te reduceren		Emissiereducties 22%	X	X	X	X
7	3.4	Destillatie	Heat Integrated Distillation Columns (HID/C)			Lagere E-gebruik, niet gekwantificeerd. Uit onderliggende literatuurreferentie afgeleid: 30%	X	X	?	
8	3.4	Destillatie	Progressive Distillation (multi-column)	Fractionering met thermische en mechanische integratie van destillatiekolommen		E-besparing 30-65% t.o.v. conventionele techniek	?			
9	3.4	Destillatie	Whole crude treatment	Vereenvoudiging van de scheiding door thermisch kraken van de ruwe aardolie ipv CDU/VDU	kan evt. gecombineerd met ontzwaaiwing	niet gekwantificeerd. In onderliggende referentie wordt 65 MJ/barrel of 17% genoemd	?			
10	3.5	Coker	Residue gasification	Thermisch ipv katalytisch behandelen van vacuüm residue/vergasen coke van coker met stoom/zuurstof om H2 te maken	meerder configuraties mogelijk; al aanwezig Shell Pernis	geen gegevens	X	X	X	X
11	3.6	FCC	FCC Downer reactor	Diverse voordelen verbonden aan downstream ipv upstream operatie van de FCC reactor	FCC niet interessant / toegepast in NL	geen gegevens	X	X	X	?
12	3.6	FCC	Millisecond catalytic cracking	Door korte contacttijd van reactant en katalysator wordt de bijproductvorming verminderd	FCC niet interessant / toegepast in NL; ook katalysatorontwikkeling	geen gegevens	X	X	X	X
13	3.7	Alkylatie	Vaste katalysatoren	Meerdere ontwikkelingenom H2SO4/HF katalysatoren te vervangen door vaste		geen gegevens	X	X	?	
14	3.7	Alkylatie	Ionic liquids	Alkylatie in zure ionic liquids		geen gegevens	X	X	X	?
15	3.7	Alkylatie	ALKYCLEAN	Proces van Albemarle, ABB Lummus en Neste Oil met zeoliekatalysator		geen gegevens	X	X	X	(X)
16	3.7	Alkylatie	Beperking fluorverlies	Voorkomen van fluorverliezen		geen gegevens	X	X	X	X

Nr.	§	Categorie	Technologie	Omschrijving	Opmerking	Besparing (ECN rapport)	Ontwikkelingsfase			
							Lab	Pilot	Demo (large scale)	Commercial
17	3.8	Hydrocracking	Gebruik nieuwste katalysatoren	Ontwikkeling en verbetering van vaste katalysatoren		geen gegevens	X	X	X	X
18	3.8	Hydrocracking	(HC)3 technologie	moleculaire of colloïdale katalysatoren		geen gegevens	X	X	X	X
19	3.8	Hydrocracking	Residual hydroconversion		duurder dan vergassing, maar waardevoller producten	geen gegevens	X	X	X	X
20	3.9	Onitzwavelling	Hydrocracking van stookolie en omschakeling naar aardgas als brandstof		geen stookoliegebruik in raffinaderijen	geen gegevens	X	X	X	X
21	3.9	Onitzwavelling	Verbetering HDS door opvoeren reactiecondities	Onitzwavelen bij hogere temperatuur en (waterstof)druk	meer ongewenste gehydrogeneerde producten en nevenreacties	geen gegevens	X	X	X	X
22	3.9	Onitzwavelling	Verbetering HDS door nieuwste generatie katalysatoren	Diverse ontwikkelingen door meerdere partijen	gebruik van edelmetaal-katalysatoren voor diepe onitzwavelling	geen gegevens	X	X	X	X
23	3.9	Onitzwavelling	SynSat technologie	Tegenstroom operatie van de HDS reactor verbetert concentratieprofielen	ABB Lummus / Criterion	geen gegevens	X	X	X	X
24	3.9	Onitzwavelling	S-Brane technologie	Concentratie van zwavelcomponenten in nafta, waardoor zwavelvrije nafta niet in de HDS unit wordt behandeld en een hoger octaangetal behoudt		geen gegevens	X	X	X	?
25	3.9	Onitzwavelling	PLEX technologie	Door installatie van mixers in de reactor wordt een meer uniforme vloeistofdistributie verkregen, waardoor de katalysatorwerking verbetert	Albemarle	geen gegevens	X	(X)	(X)	?
26	3.9	Onitzwavelling	Ebullated bed reactors	Fluidized bed reactor voor onitzwavelling van zware voeding met goede menging en lage drukval	T-Star proces van IFP, Prime HDS (Axens)	geen gegevens	X	X	X	X
27	3.9	Onitzwavelling	CDTech	Katalytische destillatie (HDS)	lichte olefinen worden gespaard voor hydrogenatie; ook in combinatie met FCC nafta reforming tot diesel	geen gegevens	X	X	X	X
28	3.9	Onitzwavelling	SulphCo technologie	Ultrasoon onitzwavelling/hydroperoxide oxidatie		geen gegevens	X	X	X	X
29	3.9	Onitzwavelling	Overige technologieën	GT-DeSulf (extractieve distillatie) OATS (thiofenen reageren met olefinen tot zwaardere componenten) Speciale oxidant (Petro Star, UniPure) Fotochemische oxidatie Precipitatie met charge-transfer complexen IRVAD (adsorptie, Balc&Veatch) S-Zorb (adsorptie via elementair zwavel, Phillips) Whole crude hydrotreatment		geen gegevens	X	?	?	?
30	3.10	Watersstofproductie	membraantechnologie	watersstofregwinning met membranen		geen gegevens	X	X	X	X

Nr.	§	Categorie	Technologie	Omschrijving	Opmerking	Besparing (ECN rapport)	Ontwikkelingsfase			
							Lab	Pilot	Demo (large scale)	Commercial
31	3.10	Waterstofproductie	CCS	Afvang van CO2 tijdens waterstofproductie	CO2 afvang goedkoopst in waterstofabriek (partiele verwijdering 50-60%)	geen gegevens	X	X	X	X
32	3.11	Zwavelmissies	Diverse zwavelrecoverytechnieken	SuperClaus/Claus-TGU, SCOT, Wet Gas Sulfuric Acid (zwavelzuur), DuePont Belco (SO2), gelijkijdige verwijdering H2S en SO2		geen gegevens	X	X	X	X
33	3.12	Afvalwaterbehandeling	Diverse technieken	hergebruik waswater, effectiever belichting van afvalwater (Linde Solvox), effectief reinigen van procesinstallaties		geen gegevens	X	X	X	X
34	3.13	Andere studies	KBC	WKK, optimalisatie steam&power systems, heat recovery, procesmodificaties	PBT <5 jaar	13% efficiencyverbetering (gemiddeld)				
35	3.13	Andere studies	SERPEC-CC (Ecofys-IPTS)	CO2 reductiemogelijkheden		20%				
36	3.13	Andere studies	Optiedocument	Diverse opties		12% (excl. autonome besparing)				
37	3.14	Nieuwe/andere raffinageconcepten	Diverse technieken			geen gegevens	?	?	?	?
38	3.15	Biobrandstoffen	Bioethanol; bio-ETBE, FAME/biodiesel, NExBTL, pyrolyse, vergassing algen	integratie van biobrandstoffen in conventionele raffinaderijen, o.a. hydrofreatment van bio-olie/glyceriden		geen gegevens	X	X	X	X

gebruikte afkortingen

TVT	Terugverdiëntijd
WW	Warmtewisselaar
WKK	Warmtekrachtkoppeling
GTG	Gasturbinegenerator
HRSG	heat recovery steam generation