



Planbureau voor de Leefomgeving

# KORTE MODELBESCHRIJVING SERUM

**Notitie**

**PBL**

**24 oktober 2019**

PBL

## **Colofon**

### **Korte modelomschrijving SERUM**

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving

Den Haag, 2019

PBL-publicatienummer: 3872

### **Contact**

[bert.daniels@pbl.nl](mailto:bert.daniels@pbl.nl), [hans.elzenga@pbl.nl](mailto:hans.elzenga@pbl.nl)

### **Auteurs**

Pieter Hammingh (PBL) en Arjan Plomp (TNO)

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Pieter Hammingh en Arjan Plomp (2019), Korte modelomschrijving SERUM, Den Haag: PBL.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is voor alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

# Inhoud

|          |                                     |           |
|----------|-------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Korte modelbeschrijving</b>      | <b>4</b>  |
| 1.1      | Inleiding                           | 4         |
| 1.2      | Wat zit er in?                      | 6         |
| 1.3      | Werking                             | 9         |
| 1.4      | Belangrijkste invoergegevens        | 11        |
| 1.5      | Beperkingen en verdere ontwikkeling | 13        |
| <b>2</b> | <b>Referenties</b>                  | <b>15</b> |

# 1 Korte modelbeschrijving

## 1.1 Inleiding

### *Wat staat in deze modelbeschrijving?*

Deze modelbeschrijving geeft een overzicht op hoofdlijnen van het doel van het model, de opbouw (wat zit erin), werking, aannames, beperkingen en verdere ontwikkelingen.

#### *Doel van SERUM*

Het primaire doel van het SERUM-model (Static ESC<sup>1</sup> Refinery Utility Model) is om voor de hele Nederlandse raffinagesector (6 raffinaderijen) het energieverbruik en de emissies van CO<sub>2</sub> en bepaalde luchtverontreinigende stoffen uit te rekenen (SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>). De (optimalisatie)berekeningen worden per doeljaar uitgevoerd. Hoewel het scenario voor een reeks van jaren in één rekenronde kan worden uitgevoerd, dient de onderlinge samenhang van het rekenresultaat voor een reeks van jaren door de modelleur te worden gecontroleerd. Het model kan de effecten berekenen van verschillende veranderingen in de context waarin de Nederlandse raffinaderijen opereren, uitgaande van een scenario voor de vraag naar olieproducten. Veranderingen die geanalyseerd kunnen worden hebben bijvoorbeeld betrekking op de beschikbaarheid van diverse typen ruwe olie of beschikbare raffinagetechnologieën. Het kan ook om meer economische of beleidsgestuurde veranderingen gaan ten aanzien van productspecificaties (bijvoorbeeld zwavelgehalte), emissiestandaarden voor processen, de omvang van de productvraag (binnenlands/export) en de olieprijs per type ruwe olie (zogenoemde crude). Het model kan ook worden gebruikt om de effecten van nieuwe technologieën (bijvoorbeeld energiebesparingsopties) door te rekenen. Het SERUM-model modelleert niet de productie van vloeibare biobrandstoffen, maar kan de inkoop en bijmenging daarvan - om te voldoen aan gestelde productspecificaties - modelleren.

#### *Aard van het model*

SERUM is een optimalisatiemodel dat gegeven de gewenste productvraag (zoals benzine, diesel, etc.), de prijzen voor grondstoffen (m.n. diverse ruwe oliesoorten) en de kosten en capaciteit van de beschikbare installaties, kan bepalen wat de kostenoptimale (goedkoopste) raffinaderijconfiguratie<sup>2</sup> is. Voor de toekomst krijgt het model de vrijheid om uiteenlopende installaties te installeren om aan de productvraag te voldoen.

Standaard omvat SERUM drie varianten: drie typen raffinaderijconfiguraties, die onafhankelijk van elkaar worden geoptimaliseerd. Met deze drie varianten worden de zes Nederlandse raffinaderijen (inclusief een gascondensaat-raffinaderij) gemodelleerd, maar het is niet mogelijk om de resultaten aan individuele raffinaderijen te koppelen.

Het model bevat de actuele technologische stand van zaken voor de installaties op de raffinaderijen. Het model bevat geen database met nieuwe opties voor het verminderen van energieverbruik of SO<sub>2</sub>- en NO<sub>x</sub>-emissies. Voor het doorrekenen van de effecten van nieuwe (raffinage-)technologieën, onder invloed van bijvoorbeeld beleid of autonome ontwikkelingen, moeten deze expliciet worden ingevoerd in het model. Het model zelf berekent de opti-

---

<sup>1</sup> Energie Studie Centrum

<sup>2</sup> Voor het configureren (samenstellen) kan SERUM kiezen uit een lijst van procesinstallaties zoals die voorkomen op de Nederlandse raffinaderijen.

male configuratie van de (Nederlandse) raffinaderijen op basis van de gewenste hoeveelheid producten.

#### *Resultaten en voorbeelden van studies*

Het SERUM-model is sinds 1983 in gebruik en is in de loop der jaren binnen diverse projecten toegepast en/of verder ontwikkeld. De belangrijkste huidige toepassing van het model is die binnen het modelleninstrumentarium voor de Nationale Energieverkenning (NEV). SERUM is meestal gebruikt bij projecten voor de Rijksoverheid. Een aantal projecten waarbij SERUM is gebruikt en verder ontwikkeld, omvat:

- In opdracht van het ministerie van Economische Zaken is SERUM door ECN ontwikkeld in de periode tot 1989 om de discussie over de kosten van het loodvrij maken van benzine te ondersteunen (Oostvoorn et al., 1989). SERUM berekeningen lieten zien dat het loodvrij maken 1 tot 2 cent per liter kostte, wat lager was dan de schattingen van de sector zelf.
- Voor Novem zijn in 1992 berekeningen gedaan aan een optimale brandstofmix, samen met TNO en CE-Delft (Rijkeboer et al., 1992). Hieruit kwam naar voren dat als men meer op diesel zou gaan rijden, het energieverbruik van de raffinaderijen erg zou gaan stijgen. Dit was een belangrijke reden voor de overheid om niet massaal diesel te gaan stimuleren.
- Tussen 1992 en 1996 zijn diverse verbeteringen doorgevoerd zoals het toevoegen van hogere ontzwavelingspercentages van de Claus-plants, opties om SO<sub>2</sub> bij catcrackers te verwijderen (transferkatalysatoren), de olievergasser/waterstofproductie-eenheid van Shell en een LPG-fabriek.

In de ECN-studie van Kok en Kroon (1997) wordt de werking van het model toegelicht aan de hand van een aantal berekeningen op hoofdlijnen. Zo gaat het rapport onder meer in op de effecten van de trends naar minder vraag naar zware olieproducten, veranderingen in de productmix van benzine en diesel en het zwaarder worden van de beschikbare ruwe olie over de tijd. Het rapport onderbouwt dat het model bruikbaar is voor energie- en emissieverkenningen. Het rapport signaleert ook dat het model een versimpeling is van de complexere werkelijkheid. Verschillen met de statistiek worden deels verklaard doordat er slechts van openbare gegevens gebruik kan worden gemaakt.

- In 2006 is er met SERUM onderzoek gedaan naar energiebesparing in de raffinagesector (Stienstra, 2006a). In Stienstra (2006b) is het model op onderdelen nader gedocumenteerd. In die periode is het model ook uitgebreid voor de productie van laagzwavelige (10ppm) diesel en benzine.
- In 2007 is met SERUM een studie gedaan naar de effecten voor de Nederlandse raffinaderijen van het IMO-voorstel om zeeschepen alleen op lichtere en schonere brandstoffen (destillaat met maximum 0,5% zwavel) te laten varen (Wilde et al, 2007). De studie laat zien met welke technieken de zware zwavelrijke brandstoffen lichter en schoner kunnen worden gemaakt en geeft schattingen voor de kosten hiervan en de effecten op de CO<sub>2</sub>-emissie van de sector.
- In opdracht van het ministerie van VROM is in 2010 de studie 'raffinaderijen richting 2030' uitgevoerd (Plomp en Kroon, 2010). Hierin kijken de auteurs vooral naar nieuwe technieken waarmee schonere brandstoffen kunnen worden gemaakt (ontzwaveling scheepsbrandstoffen) en die waarmee energie en dus CO<sub>2</sub> kan worden bespaard. De kennis uit SERUM vormt daarbij het referentiekader voor het bepalen van de effecten van nieuwe technologieën in de Nederlandse raffinagesector.
- In opdracht van de VNPI (Vereniging Nederlandse Petroleum Industrie) is onderzoek verricht naar competitiviteit van de Nederlandse raffinagesector in relatie tot milieunormen. Dit onderzoek is uitgevoerd met WoodMackenzie in 2014/2015 (Plomp et al, 2015; Ybema & Plomp, 2015).

- In de periode 2014-2019 is SERUM gebruikt ten behoeve van de jaarlijkse Nationale Energieverkenningen en Klimaat- en Energieverkenning; daarvoor is SERUM al gebruikt bij de verschillende referentieramingen in de periode 2011-2012.

## 1.2 Wat zit er in?

### *Raffinage-, meng- en energievoorzieningsmodule*

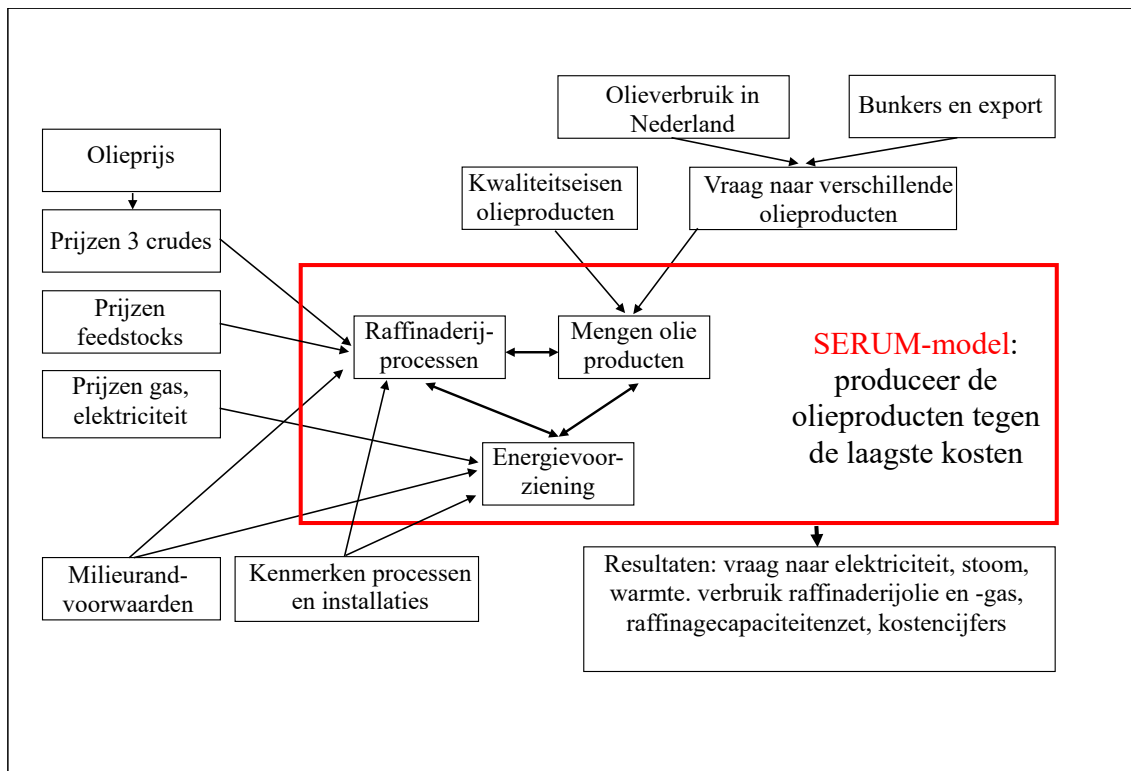
Een schematisch overzicht van SERUM, met daaromheen de benodigde invoergegevens (exogene variabelen) en de resultaten is gegeven in Figuur 1. Het SERUM-model bestaat uit drie modules: de raffinagemodule, de blending- of mengmodule en de energievoorzieningsmodule.

De **raffinagemodule** beschrijft het verwerken van ruwe olie in verschillende procesinstallaties zoals: destillatie (atmosferisch/vacuum), katalytisch kraken, het kraken of bewerken met waterstof (hydrocracking of hydrotreating) en verschillende andere processen. Elk proces heeft specifieke data/randvoorwaarden voor onder meer de kosten, productopbrengsten en -kwaliteiten, energieverbruik, gebruikte type brandstof en, indien aanwezig, emissies naar lucht. Dat laatste betreft hoofdzakelijk CO<sub>2</sub>; eventueel kunnen ook SO<sub>2</sub>- en NO<sub>x</sub>-emissies worden bepaald, maar meestal gebeurt dit separaat op basis van (recentere) emissierapportages.

De raffinagemodule is in drie aparte varianten (drie raffinaderijconfiguraties) uitgevoerd: een traditionele route, een hyconroute en een flexicokerroute. Daarmee worden de bestaande configuraties ingedeeld naar de mate waarin met name residuale olie bewerkt kan worden tot hoogwaardige producten.

Voor deze onderverdeling is ten tijde van het opstellen van het model in overleg met de branche gekozen. Met de opsplitsing kunnen de verschillende Nederlandse raffinaderijen goed worden gemodelleerd, en wordt ervoor gezorgd dat er niet automatisch allerlei onderlinge leveringen (van bijvoorbeeld intermediaire producten) kunnen plaatsvinden die in werkelijkheid ook niet (of maar beperkt) plaatsvinden tussen raffinaderijen. Uit doorrekeningen met de drie varianten kan tevens informatie naar voren komen of een bepaald effect op dezelfde manier of juist anders uitpakt voor de verschillende raffinaderijen.

De totale Nederlandse productvraag moet gezamenlijk met de drie varianten van de raffinagemodule worden geproduceerd. Daartoe wordt de productvraag als model-input over deze drie varianten verdeeld (zie Figuur 1).



Figuur 1 Flowschema SERUM-model

De **mengmodule** beschrijft het mengen ("blenden") van intermediaire producten tot eindproducten die voldoen aan de gestelde kwaliteitseisen.

De **energievoorzieningsmodule** beschrijft de productie van de warmte, stoom en elektriciteit die nodig zijn bij de raffinageprocessen. Daartoe specificeert de module verschillende typen fornuizen, boilers en gasturbines en de brandstoffen die worden gebruikt. Deze module bevat ook de data voor de opwekkingskosten van energie, conversierendementen en de emissiefactoren voor luchtverontreinigende stoffen ( $\text{SO}_2$  en  $\text{NO}_x$ ). In de praktijk zijn de emissiefactoren voor luchtverontreinigende stoffen ( $\text{SO}_2$  en  $\text{NO}_x$ ) echter niet accuraat en wordt het model maar weinig gebruikt om er berekeningen voor uit te voeren: vooral voor  $\text{SO}_2$  worden de emissies in de praktijk sterk bepaald door wisselingen in operaties (zoals een fluctuerend zwavelpercentage in het raffinaderijgas of de hoeveelheid 'zuur gas' naar de fakkel. Trends hierin worden sterk bepaald door maatregelen (al dan niet via vergunningverlening). Tot nu toe blijkt het relevanter om dit buiten het model om te analyseren; SERUM kan dit eventueel wel faciliteren. Via een invoerbestand kan een jaarlijkse autonome energiebesparingsfactor worden ingevoerd die van toepassing is op de energievoorziening van de raffinage.

#### Stoomvraag en WKK

De stoombehoefte van de Nederlandse raffinaderijen wordt voor een deel geproduceerd door warmtekrachteenheden (WKK). Deze WKK worden niet binnen SERUM gemodelleerd maar binnen het SAVE-productiemodel. Dat is het model voor de industrie binnen het modelleninstrumentarium voor de Klimaat- en Energieverkenning (KEV). Een deel van de WKK-eenheden wordt behandeld als must-run WKK (aanbodgedreven op basis van vrijkomende restgassen).

#### Invoergegevens model

Het SERUM-model gebruikt als invoer een opgegeven vraag naar olieproducten met daarbij de specificaties voor die olieproducten (kwaliteitseisen). Het gaat daarbij om vraag vanuit

het binnenland, de luchtvaart- en maritieme bunkers en voor een aanzienlijk deel uit het buitenland.

Verder heeft het model de prijzen en eigenschappen van drie verschillende typen ruwe olie nodig. Die drie typen ruwe olie, waarvan één vrij lichte ruwe oliesoort (Brent Blend) en twee zwaardere ruwe oliesoorten (Iranian Light en Arabian Heavy), representeren de range aan meest voorkomende typen ruwe oliesoorten die in Nederland worden verwerkt en verhandeld<sup>3</sup>.

Naast ruwe olie zijn ook de prijzen en specificaties van een aantal andere feedstocks (bijvoorbeeld condensaat, zware nafta, aardgas voor waterstofproductie, atmosferisch residu) en blendstocks (bijvoorbeeld MTBE) nodig.

In SERUM kunnen verder nog bepaalde milieueisen (zoals het zwavelpercentage van brandstoffen) als randvoorwaarden worden meegegeven. Het model beschikt over een database met raffinagetechnologieën met al hun relevante specifieke techno-economische kenmerken (zoals maximale capaciteit, kosten, rendementen, omzettingen, energieverbruik en emissies). Deze database omvat ook recent geïnstalleerde technieken, zoals de Solvent Deasphalter Unit van Shell te Pernis.

Via een invoerbestand kan een jaarlijkse autonome energiebesparingsfactor worden ingevoerd die van toepassing is op de energievoorziening van de raffinage. Dit type besparing wordt in de praktijk veelal gerealiseerd na klein dan wel groot onderhoud aan een raffinaderij.

#### *Resultaten model*

De belangrijkste modelresultaten zijn de gemaakte olieproducten, de benodigde hoeveelheden aan ruwe olie en andere feedstocks, data over allerlei intermediaire producten, de benuttingsgraad van toegepaste installaties, kostengegevens, energieverbruik naar type en emissies van CO<sub>2</sub> (eventueel ook SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>).

Het SERUM-model onderscheidt de volgende producten:

1. LPG (vloeibaar gas).
3. Nafta's (inclusief aromaten).
4. Benzines (super en normaal).
- 5- Kerosine
6. Autodiesel
7. Gasolie
6. Zware stookolie
9. Zware stookolie voor bunkering
- 10 Overige produkten, waaronder
  - Smeermiddelen;
  - Wassen;
  - Asfalt (bitumen);
  - Vacuüm Gasolie en Atmosferisch Residu (mogelijke tussenprodukten voor andere raffinaderijen).

---

<sup>3</sup> Het is niet exact bekend welke oliekwaliteiten op nationaal niveau worden geïmporteerd en verwerkt, maar de genoemde oliekwaliteiten lijken nog altijd representatief en voldoende onderscheidend voor de voornaamste landen van herkomst. Naast olie uit de Noordzee (m.n. Noorwegen en Verenigd Koninkrijk) en olie uit het Midden-Oosten, wordt er relatief veel olie uit Rusland en de westkust van Afrika geïmporteerd. In enkele gevallen valt het zwavelpercentage vermoedelijk buiten de gebruikte oliesoorten in het model, maar dit leidt niet tot zware afwijkingen. De API-dichtheid - een maatstaf van het American Petroleum Institute om een kwaliteit van olie te bepalen - van de meeste oliesoorten kan voor vrijwel alle geïmporteerde oliekwaliteiten benaderd worden met het model.



Daarnaast onderscheidt het model producten voor energielevering en eventueel ook bijproducten. Bij producten voor energielevering gaat het vooral om raffinaderij-gas, elektriciteit en warmte, en bijproducten, zoals zwavel, petroleumcokes, flexicokergas, waterstof.

### 1.3 Werking

#### *Optimalisatiemodel*

Het SERUM-model is een lineair optimalisatiemodel dat is geprogrammeerd in GAMS-software. Dit type model wordt ook door de raffinage-industrie zelf toegepast en is geschikt voor het modelleren van systemen waarin procesmatige en technische relaties domineren. SERUM optimaliseert op laagste kosten (oftewel de goedkoopste raffinageconfiguratie) waarmee (precies) aan de gestelde productvraag kan worden voldaan.

Het model kan in principe ook worden gebruikt om de winst van een raffinaderij te optimaliseren. In dat geval moeten ook de verkoopprijzen van producten als invoer worden meegegeven aan het model.

#### *Rekenwijze met drie raffinagevarianten*

Zoals in 1.2 is aangegeven bestaat het SERUM-model eigenlijk uit drie raffinaderij-configuraties, die onderling vooral verschillen qua raffinagemogelijkheden voor de residuale olie. Met deze drie varianten moet gezamenlijk aan de voorgeschreven vraag naar olieproducten worden voldaan. Daartoe wordt voorafgaand aan het uitvoeren van een berekening met SERUM eerst een voorgeschreven productvraag exogeen over de drie varianten verdeeld. Dit zijn invoergegevens die via de operationele schil<sup>4</sup> van SERUM worden ingelezen. Vervolgens wordt iedere modelvariant met de eigen productvraag één keer gedraaid. De operationele schil integreert vervolgens de resultaten van de drie modelberekeningen tot sectortotalen.

Als onderdeel van de modelresultaten worden per configuratie en per eindproduct ook zogenoemde schaduwrijzen berekend. De schaduwrijzen representeert kosten voor het produceren van de laatste gevraagde eenheid van een bepaald product (in euro/ton product, ook wel marginale kosten genaamd). Indien een schaduwrijzen voor een bepaald product sterk verhoogd is ten opzichte van andere producten of de andere twee modelvarianten, kan dit duiden op de technische onmogelijkheid om de laatste hoeveelheden van dat eindproduct daadwerkelijk te produceren. De conclusie voor het SERUM-model is meestal dat bij sterk verschillende schaduwrijzen voor hetzelfde product de productvraag opnieuw over de drie raffinaderijvarianten verdeeld moet worden. Met de berekeningen wordt gestopt indien de verschillen in schaduwrijzen acceptabel zijn en aan de vraag naar producten wordt voldaan met een afwijking die maximaal 0,1 miljoen ton olieproduct bedraagt.

#### *Kalibratie*

Het SERUM-model wordt bij aanvang van nieuwe studies gekalibreerd met behulp van (historische) statistieken van CBS en eventuele informatie van de raffinaderijsector zelf. De belangrijkste invoergegevens zijn dan de productvraag voor een jaar met de productspecificaties, de olieprijs van de verschillende soorten ruwe olie, prijzen van feedstocks, beperkingen aan het maximale aandeel van de verschillende soorten ruwe olie (sommige raffinaderijen kunnen alleen meer zware en zwavelrijke ruwe olie gebruiken) en de maximale capaciteiten van een aantal hoofdprocessen. Het model berekent dan onder andere de inzet per soort ruwe olie, de feedstockinzet, de capaciteits- en brandstofbehoefte en de daaruit resulterende CO<sub>2</sub>-emissies (en eventueel ook SO<sub>2</sub>- en NO<sub>x</sub>-emissies. Door het analy-

---

<sup>4</sup> De operationele schil wordt later in deze paragraaf beschreven onder het kopje 'ICT-implementatie'.

seren van de resultaten met de beschikbare statistieken kunnen verschillen worden geïdentificeerd waarna bijvoorbeeld technische invoerparameters kunnen worden verbeterd.

#### *Toepassing SERUM bij energie- en emissieverkenningen*

Het SERUM-model rekent standaard 1 jaar door met jaargemiddelde invoergegevens. Voor meerjarige periodes, zoals bij scenario's en verkenningen tot bijvoorbeeld 2030, wordt de modelberekening in één rekenbatch herhaald met voor elk nieuw jaar specifieke invoergegevens. Een meerjarige periode kan dus met één rekencommando worden uitgevoerd. De belangrijkste gegevens die jaarlijks wijzigen voor bijvoorbeeld verkenningen zijn de vraag naar brandstoffen, de prijs van ruwe olie en CO<sub>2</sub>, de prijzen van feedstocks, en de prijzen voor aardgas en elektriciteit.

De vraag naar brandstoffen en olieproducten van de Nederlandse raffinaderijen bestaat uit de vraag vanuit de nationale transportsector, die van de internationale luchtvaart- en zeevaartbunkers, de export en de naar olieproducten vanuit de chemische industrie.

De brandstofvraag van het nationale transport volgt uit de berekeningen met de nationale transportmodellen. De brandstofvraag van de bunkers wordt niet expliciet gemodelleerd maar afgeleid uit internationale studies naar ontwikkelingen in de lucht- en zeevaart. De samenstelling van het exportpakket wordt geschat op basis van de huidige situatie, trends en verwachtingen omtrent Europese ontwikkelingen. De vraag naar olieproducten uit de chemische industrie wordt gebaseerd op de verwachte ontwikkeling voor die sector<sup>5</sup>. Al deze onderdelen zijn met de nodige onzekerheden omgeven.

De Nederlandse export van olieproducten concentreert zich overigens op Noordwest-Europa. Afzet buiten Noordwest-Europa is onvoldoende winstgevend, dus een raffinaderij die volledig intercontinentaal in olieproducten handelt heeft weinig toekomstperspectief. Daarmee zijn vooral de ontwikkeling van de vraag in Noordwest-Europa belangrijk. Omdat daar een stagnerende vraag naar olieproducten wordt verwacht en er een overcapaciteit van raffinaderijen is, is vooral belangrijk om vast te stellen wat de positie is van de Nederlandse raffinaderijen binnen de Noordwest-Europese context en welk deel van de productvraag door de Nederlandse sector ingevuld kan gaan worden.

De prijs van ruwe olie in verkenningen wordt gebaseerd op verschillende informatiebronnen. Voor de korte termijn (enkele jaren vooruit) geven de korte termijnmarkten goede schattingen voor de ruwe olieprijs. Voor de langere termijn tot 2030 en 2040 worden de prijzen vaak gebaseerd op studies van het IEA. In SERUM zijn de prijzen (en specificaties) van drie typen ruwe olie nodig. De prijs van Brent Blend wordt gelijk verondersteld aan de wereldhandelsprijs voor ruwe olie. Voor Iranian Light wordt een prijs aangenomen die wat lager is dan de benchmark van Brent Blend en Arabian Heavy kent weer een wat lagere prijs dan Iranian Light. Deze verschillen zijn voornamelijk terug te voeren op verschillen in dichtheid van olie (zwaar of licht) en het zwavelgehalte (hoog of laag). Lichte oliesoorten met weinig zwavel zijn makkelijker te raffineren tot hoogwaardige producten en dus duurder.

Gasprijzen worden net als de ruwe olieprijs voor de korte termijn gebaseerd op de kortetermijnmarkten en voor de lange termijn op de meest recente World Energy Outlook van het IEA. De elektriciteitsprijs wordt binnen het instrumentarium van de energieverkenningssystemen berekend. Deze wordt slechts in zeer beperkte mate beïnvloed door de vraag naar elektriciteit uit de raffinagesector.

---

<sup>5</sup> De chemische industrie wordt binnen het SAVE-productiemodel gemodelleerd.

### *ICT-implementatie*

Het SERUM-model kent voor wat betreft de ICT-implementatie twee onderdelen: een operationele schil in MS Excel en het lineaire optimalisatiemodel geschreven in GAMS-software.

Bij de start van SERUM leest deze operationele schil alle benodigde inputgegevens in vanuit de gezamenlijke database voor de nationale energieverkenningmodellen. Binnen deze schil kunnen inputgegevens (bijvoorbeeld energiegebruik van een bepaald proces) zo nodig nog worden aangepast. Hierna voert de operationele schil de data uit naar het optimalisatiemodel en draait deze het optimalisatiemodel. Het model schrijft de resultaten vervolgens via de schil weg in de gezamenlijke database en in aparte bestanden voor analysedoeleinden.

## 1.4 Belangrijkste invoergegevens

### *Vraag en samenstelling olieproducten*

Uit berekeningen met SERUM blijkt dat, na de doorzet van ruwe olie, de samenstelling van de productvraag de belangrijkste factor is voor het energieverbruik van raffinaderijen (Kok & Kroon, 1997). Het gaat er daarbij om in hoeverre een raffinaderij met eenvoudige destillatiestappen in de productvraag kan voorzien en in hoeverre diepe en meer complexe conversie noodzakelijk is (d.w.z. het omzetten van zware residuale olie in lichte brandstoffen). Een maximale diepe conversie of juist helemaal geen diepe conversie kan een verschil van 40% uitmaken in het energieverbruik van een raffinaderij. Ook is er een optimale verhouding tussen de productie van diesel en gasolie aan de ene kant en die van benzine en nafta aan de andere kant (Kok & Kroon, 1997). Een productieverhouding die (sterk) afwijkt van deze optimale verhouding resulteert in een hoger energieverbruik van de raffinaderij of stuit zelfs op productielimieten.

Zoals in paragraaf 1.3 is aangegeven wordt de toekomstige vraag naar geraffineerde olieproducten gebaseerd op scenario's voor het wegtransport, de lucht- en zeevaart, export en die van de chemische industrie. De projectie van het energieverbruik van de raffinagesector is daarmee voor het belangrijkste deel afhankelijk van de vraagontwikkeling naar olieproducten uit andere sectoren en de export.

De samenstelling van de historische productvraag wordt gebaseerd op de oliestatistieken van het CBS. Voor SERUM is vervolgens een meer gedetailleerde onderverdeling nodig. Voorbeelden hiervan zijn de verdeling van zware olieproducten in zware stookolie en bunkerolie en de verdeling van 'middle distillates' in verschillende gasolie kwaliteiten.

In scenarioberekeningen kan de samenstelling van de productvraag worden afgeleid uit de scenario's voor de verschillende transportmodaliteiten en de chemische industrie.

### *Prijzen ruwe olie en andere grondstoffen*

Een andere belangrijke factor voor het energieverbruik van raffinaderijen betreft de ingezette ruwe oliesoorten. Zo kost het raffineren van zware en zwavelrijke ruwe olie tot lichte, zwavelarme brandstoffen relatief meer energie dan het raffineren van lichte, zwavelarme ruwe olie. Het model kan, binnen bandbreedtes, optimaliseren naar de inzet van vier ruwe oliesoorten, waarbij in de praktijk alleen de drie zwaarste ruwe oliesoorten worden gebruikt in het model (zie 1.2). Het resultaat van deze optimalisatie verschilt binnen de drie raffinagevarianten en wordt sterk bepaald door de eigenschappen van de verschillende ruwe oliesoorten en prijsverschillen. De prijzen voor de verschillende typen ruwe olie worden op marktgegevens en IEA-analyses gebaseerd en zijn parameters in een invoerbestand voor SERUM.

### *Capaciteiten en energie-efficiëntie*

Voor berekeningen voor een historisch jaar, om bijvoorbeeld het energieverbruik van de sector te toetsen, is het vanzelfsprekend dat de capaciteiten van de raffinaderij-installaties (per raffinaderijvariant) in het model identiek zijn aan de werkelijk aanwezige capaciteiten.

Voor toekomstverkenningen krijgt het model vrijheid om aan de productvraag te voldoen, en dus zelf de benodigde capaciteit te kiezen. Veel scenario's voorzien dat er een capaciteits-toename van diepe conversie nodig is om aan de productvraag te voldoen, zoals hydrocracking- en coking-technologieën.

## 1.5 Beperkingen en verdere ontwikkeling

### *Dynamiek en detailniveau model:*

Uit analyses (ECN, 1997) blijkt dat het model wat betreft optimalisatie van raffinageprocessen minder flexibel is dan echte raffinaderijen. Het model kan ook minder soorten ruwe olie inzetten dan het aantal soorten dat in de praktijk voorkomt.

Daarnaast blijkt uit analyses dat het model niet alle koppelingen tussen processen precies kan modelleren zoals in werkelijkheid wel mogelijk is op een raffinaderij. Kalibraties en berekeningen aan historische jaren laten zien dat er dan extra aanpassingen aan de invoer moeten worden aangebracht om tot een realistische modelberekening te komen. Dit is bijvoorbeeld relevant voor de productie van nafta/aromaten enerzijds en benzine anderzijds: in Nederland wordt relatief veel nafta/aromaten geproduceerd en het restant kan door diverse blendmogelijkheden, o.a. in de haven van Amsterdam, worden weggeblend in de grote import-/export-pool benzine. Dit laatste effect kan niet zichtbaar worden gemaakt in SERUM. Tenslotte kent de raffinagesector in Nederland relatief veel samenwerking met raffinaderijen in het buitenland, in het bijzonder met de raffinaderijen in Antwerpen. De uitwisseling van intermediaire olieproducten tussen raffinaderijen is onvolledig in beeld in de statistieken en ook dit compliceert modeloptimalisaties naar de productvraag in de statistieken.

### *Herkomst en actualiteit kenmerken raffinageprocessen*

De kennis over de kenmerken van de Nederlandse raffinaderijen en over individuele raffinageprocessen (zoals kosten, procestechnische gegevens en eigenschappen van olieproducten) is voornamelijk gebaseerd op openbare informatie. Naast de internationale literatuur wordt er ook gebruik gemaakt van informatie van de Nederlandse Vereniging van de Petroleum Industrie (VNPI). Verder zit er in SERUM expertkennis die door de jaren heen is verkregen uit vertrouwelijke gesprekken met de raffinagesector. De database met technologieën wordt geactualiseerd op het moment dat er bij raffinaderijen wijzigingen op installatieniveau zijn aangebracht.

Omdat het model voornamelijk gebruik maakt van openbare, niet altijd even gedetailleerde gegevens over de kenmerken van de Nederlandse raffinaderijen en prijzen van grondstoffen en producten resulteert dat in onzekerheid in de berekende productiegrenzen, productiekosten en productprijzen.

### *Model voldoende nauwkeurig voor toepassing bij scenario's*

Tot de belangrijkste modelonzekerheden behoren de gebruikte olieverwerkende processen en de bijbehorende energiekarakteristieken, alsook de daadwerkelijke oliekwiteit ten opzichte van de model-database. Het model heeft bijvoorbeeld de beschikking over een viertal standaard oliemengsels (blends). Er wordt tegenwoordig echter relatief veel olie uit Rusland geraffineerd in Nederland; het zwavelgehalte hiervan wijkt enigszins af van de vier standaard oliemengsels. De olieverwerkende processen kennen een modelmatige optimalisatie op basis van economische parameters; sommige processen resulteren in een beperkt hogere of lagere benutting dan in werkelijkheid het geval is. Ook dit resulteert in een beperkte modelmatige afwijking. Verder kunnen weliswaar toekomstige jaren met SERUM worden doorgerekend, maar dit gebeurt in principe op basis van de huidige stand der techniek, tenzij er aanvullende kennis in het model wordt gestopt.

Desondanks is SERUM goed bruikbaar als onderdeel van het modelleninstrumentarium voor de Klimaat- en Energieverkenningen. De relatie tussen aanbod van ruwe olie en prijzen, de productvraag, de emissie-eisen, het brandstofverbruik en emissies wordt daarvoor voldoende nauwkeurig gemodelleerd. De onzekerheid van het model is relatief beperkt ten opzichte van de onzekerheid van input-gegevens, zoals de toekomstige olieprijs en de toekomstige

omvang en ontwikkeling van de productvraag. In van der Welle (2017) is de ordegrootte van de onzekerheid van het SERUM-model nader gespecificeerd. In 2019 is de modelonzekerheid ingeschat op 10%-15%. Deze modelonzekerheid is bepaald door statistieken te vergelijken met berekeningen omtrent het energieverbruik.

#### *Voor- en nadelen optimalisatiemethodiek*

Het belangrijkste voordeel van de optimalisatiemethode voor de raffinaderijen is dat alle aspecten (zoals: emissies, energiekosten, investeringen en inkoop van grondstoffen) integraal in de oplossing (dat wil zeggen: de kostenoptimale raffinageconfiguratie) zijn meegenomen. In werkelijkheid – waarbij raffinaderijen streven naar de meest winstgevende raffinaderijconfiguratie – gebeurt dit op dezelfde manier.

Maar, doordat het model zoveel variabelen meeweegt in de oplossing is het vervolgens wel lastig om aan te geven welke variabele de doorslag heeft gegeven voor die oplossing. De gebruiker dient zich er bovendien van bewust te zijn dat de optimalisatiemethodiek beperkt is tot de beschikbare technieken in het model en dat het resultaat ook sterk afhangt van een juist inschatting van de technologiekosten.

# 2 Referenties

- Boonekamp, P.G.M., et.al (2003) Sectorale CO<sub>2</sub>-Emissies tot 2010: Update Referentieraming ten behoeve van besluitvorming, ECN-C--03-095, ECN, Petten, December 2003
- Dril, A.W.N. van, et. al.. (2005): Reference projections energy and emissions 2005-2020. ECN publicatienummer: Publicatie type: ECN-C--05-089 ECN, Petten, October 2005
- Harmsen, R., et. al. (2003): Ontwikkeling energiegebruik HIC Rotterdam 2002-2020 bij lopend beleid., ECN-C--03-093, ECN, Petten, December 2003
- Kok I.C., P. Kroon (1997): Raffinagemodel SERUM in hoofdlijnen. ECN-C--96-066, ECN, Petten, March 1997.
- Oostvoorn F. van, P. Kroon, A.V.M. de Lange (1989): SERUM: Een model van de Nederlandse raffinage-industrie. ESC-49, ECN, Petten, October 1989.
- Plomp A.J., P. Kroon (2010). Raffinaderijen naar 2030. ECN-E—10-064, ECN, Amsterdam, December 2010.
- Plomp A.J., Ch. Barry, P. Kroon, I. McAlpine, M. Mozzafarian (2015). Refinery Emissions from a Competitive Perspective. ECN-E—15-003, ECN, Amsterdam, 15 January 2015.
- Rijkeboer, R.C. et. Al (1992): Wijziging brandstofmix; Een studie naar de gevolgen voor energiegebruik en emissie van een drastische wijziging van de verdeling benzine-diesel-LPG bij personen- en bestelwagens, TNO-rapport no. 92.OR.VM001.0/RR, TNO-IW, Delft, October 1992.
- Stienstra, G.J. (2006a): Energiebesparing Raffinaderijen: Beschrijving 'bottom-up' methode&toepassing voor de periode 1990-2003. ECN-E—06-005, ECN, Petten, October 2006.
- Stienstra, G.J. (2006b): Documentation of Dutch refinery model SERUM. ECN-E—06-029, ECN, Petten, November 2006.
- Wilde, H.P.J., et. Al. (2007): Quick Scan of the Economic Consequences of Prohibiting Residual Fuels in Shipping, ECN-E—07-051, ECN, Petten, July 2007.
- Ybema, J.R., A.J. Plomp (2015); Refinery emissions from a competitive perspective, ECN-L--15-011, maart 2015. Presentation for event organized by VNPI and CIEP, Landgoed Clingendael in The Hague, Netherlands.