

# Chemische Feitelijkheden

#387  
Editie 98  
september  
2022

Arno van 't Hoog

## Aardolie

**Van brandstof naar grondstof**

Al ruim een eeuw proberen raffinaderijen zoveel mogelijk benzine, diesel en kerosine uit een vat ruwe olie te halen, maar die periode loopt ten einde. Fossiele brandstoffen worden langzaam maar zeker vervangen door andere bronnen. De opmars van de elektrische auto laat zien dat daardoor de vraag naar benzine en diesel zal gaan dalen. Toch betekent dat niet dat aardoliewinning en raffinage binnenkort verleden tijd zijn. De vraag naar petrochemische grondstoffen voor polymeren blijft namelijk de komende jaren explosief

groeien. Raffinage en petrochemie spelen daarop in door uit een vat ruwe olie steeds meer van dat soort grondstoffen te maken. Tegelijkertijd moeten raffinage en petrochemie zichzelf opnieuw uitvinden en in hoog tempo vergroenen, want deze industrie levert een forse bijdrage aan de wereldwijde uitstoot van koolstofdioxide. Totdat de wereldvoorraden zijn uitgeput en we andere bronnen van energie en koolwaterstoffen hebben aangeboord, blijft aardolie nog richting de chemie stromen.



# Van brandstof naar grondstof

We leven in een aardoliemaatschappij: vrijwel alle materialen in ons dagelijks leven bevatten deels koolwaterstoffen uit fossiele bronnen. Omdat in Azië en Afrika een nieuwe middenklasse ontstaat, gaat de wereldwijde vraag naar polymeren in auto-onderdelen, meubels, kleding, verpakkingen en elektronica fors toenemen. Chemiebedrijven spelen daarop in, met als ultiem doel de directe omzetting van plakkerige ruwe olie in chemische bouwstenen.

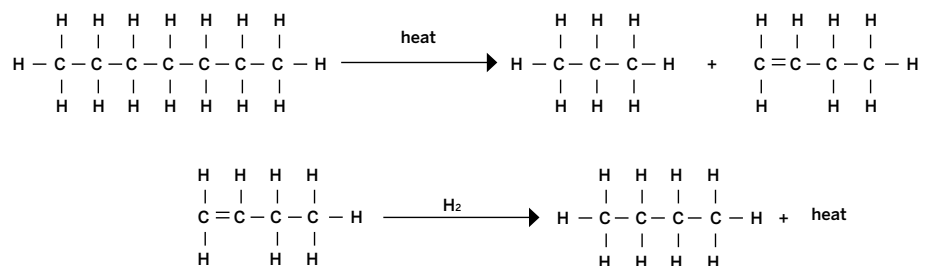
**D**e Amerikaanse ondernemer Samuel M. Kier (1813 – 1874) had een zoutfabriek in Pennsylvania, maar het zilte bronwater dat hij daarvoor gebruikte raakte rond 1845 vermengd met een bruine, olieachtige vloeistof. Na in eerste instantie het goedje te lozen, probeerde Kier het als brandstof in olielampen voor de nachtverlichting van zijn zoutwaterbronnen. De lampen walmden zwarte rook en stonken flink, maar de brandstof was wel veel goedkoper dan de walvisolie die in die jaren werd gebruikt.

## Aardoliewinning

In 1849 gaf Kier wat van zijn aardolie aan chemicus James C. Booth, en beide heren kwamen tot de conclusie dat de brandkwaliteit van de olie sterk zou verbeteren door een vorm van zuivering, zodat er veel minder rook en stank ontstaat. Kier had geen chemische achtergrond, maar begon te experimenteren met destillatie. Hij verhitte de ruwe olie en ving een opgezuiverde fractie op – kerosine – die hij als ‘Carbon oil’ verkocht. Het geëxperimenteerde leidde in 1853 tot een bescheiden raffinaderij plus handel in lampolie voor mijnwerkers. Kier maakte ook ‘petroleumboter’ als huidsmersel, tegenwoordig beter bekend onder de merknaam vaseline. Kier wordt als de pionier gezien van de olieraffinage, maar in vrijwel dezelfde periode experimenteerden andere onderne-

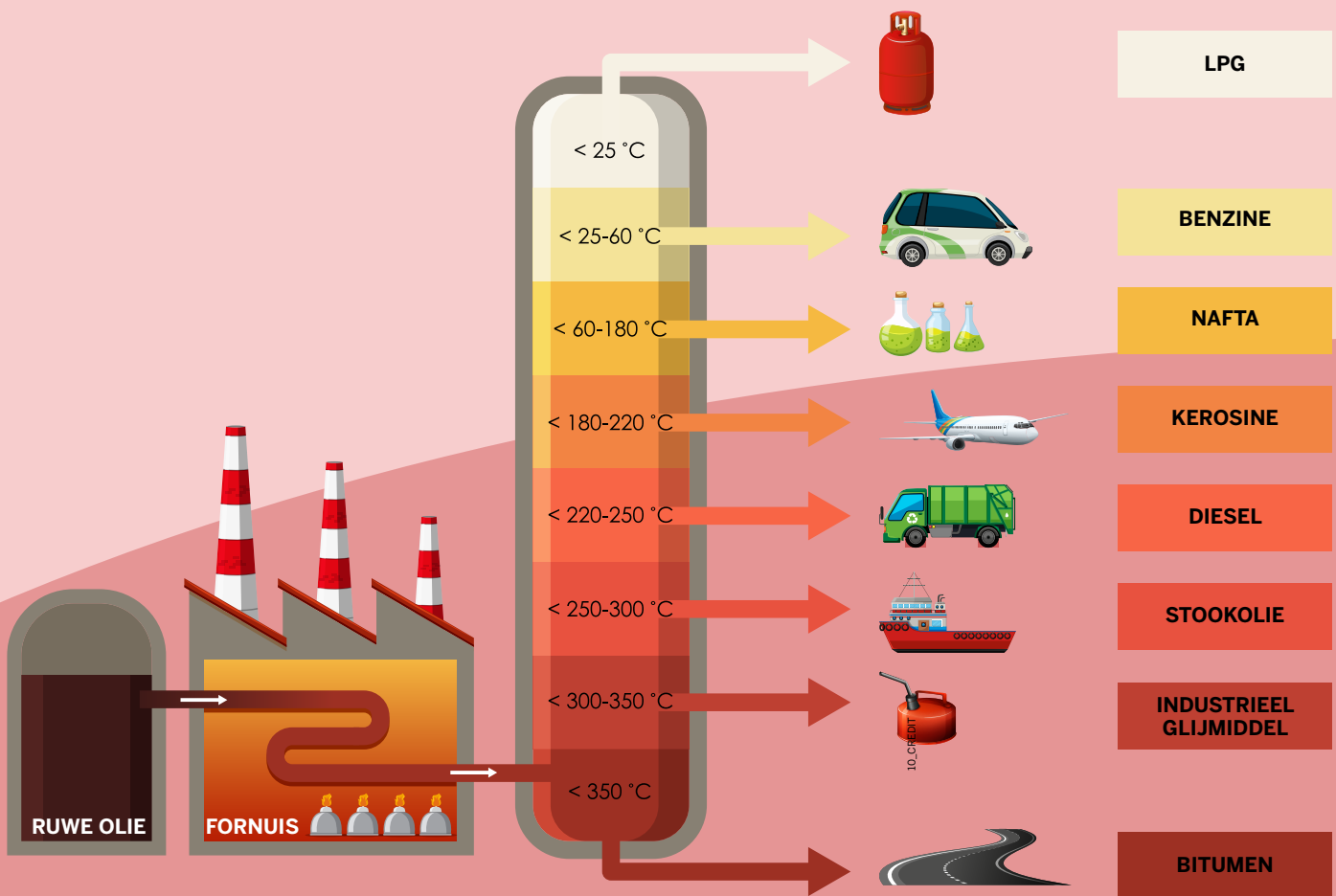
mers aan de andere kant van de oceaan met precies dezelfde processen. Rond 1845 komt aardoliewinning in Azerbeidzjan (Baku) en Oost-Europa van de grond. Eind jaren 1850 verschijnen de eerste raffinaderijen in Polen en Roemenië. Boekarest is in 1857 de eerste stad ter wereld met stadsverlichting op kerosine. De productie van kerosine draait in die jaren om het verhitten van een flink vat met ruwe olie, gevolgd door het condenseren van de dampen in een watergekoelde kolom, een systeem dat lijkt op het ouderwets stoken van wodka of whisky. In het kerosinedestillaat zaten nog allerlei vluchtige fracties, die werden afgescheiden, waarna de kerosine nogmaals werd gedestilleerd om een constante kwaliteit lampolie te krijgen. Alle vluchtige stoffen die vrijkwamen waren bij gebrek aan opslagtechnologie een riskant residu en werden daarom verbrand. De zwarte drab die onderin de stookketel

overbleef werd nogmaals verhit en gedestilleerd onder lagere druk. Drukverlaging verlaagt het kookpunt; je hoeft dus minder hard te stoken, en het levert waardevolle fracties op, zoals smeerolie en -vet voor stoommachines en paraffine voor kaarsen. Voor het zwarte, taai residu dat dan nog in de ketel achterbleef – bitumen – ontstond vanaf 1890 een nieuwe markt: gemengd met steenslag kun je er asfaltwegen mee aanleggen. De vraag daarnaar groeide explosief: de uitvinding van de verbrandingsmotor en massaproductie van auto's als de goedkope T-Ford rond 1900 creëerde een markt voor brandstof én bitumen. Aardolie veranderde zo van een lampenbrandstof in een aanjager van transport over land, zee en door de lucht. In de eeuwenrichtte olieraffinage richtte zich vooral op de productie van diesel, benzine, kerosine en LPG. Raffinaderijen proberen zoveel mogelijk brandstoffen uit een vat ruwe olie te persen, want daar was en is veel vraag



Hydrocracking. Eerst kraak je met hitte (boven), daarna kraak je dubbele bindingen met waterstof.

# FRACTIONELE DESTILLATIE



In een gasgestookt fornuis verhit je ruwe olie, waardoor je de olie in verschillende fracties kunt opdelen.

naar.

Raffinage voegt kortom waarde toe aan een op zich onbruikbare grondstof: pas na verhitting, destillatie, scheiding, zuivering en chemische omzetting kun je geld verdienen. En de proces-technische kern van moderne aardolieraffinage lijkt nog steeds op raffinage uit 1860. Verschillen in kookpunt van allerlei koolwaterstoffen in ruwe aardolie maken het mogelijk ze van elkaar te scheiden.

Raffinage begint dus meestal met verhitting van ruwe olie door het via buizen door een gasgestookt fornuis te sturen. De tem-

peratuur loopt dan op tot 340-400°C, waarna de borrelende massa onderin in een destillatietoren stroomt. De korte koolstofketens – C1 tot C4 – verdampen bij een lage temperatuur en stijgen het hoogst in de toren en worden daar afgevangen.

## Kraken

De koolwaterstoffen met langere ketens hebben een hoger kookpunt en condenseren op een lagere plek in de destillatiekolom. Zo kun je op verschillende hoogtes verschillende fracties opvangen: stookgas

(met name ethaan en methaan), LPG (butaan en propaan), nafta, kerosine, lichte gasolie, zware gasolie en residu.

Destillatie levert onderin de kolom een flinke fractie zware olie en residu met lange koolstofketens. Met de juiste procesomstandigheden en katalysatoren kunnen die ketens worden opgeknipt in kortere ketens, wat vooral nafta oplevert en grondstof voor diesel en benzine. Met thermisch kraken en katalytisch kraken kun je de opbrengst van een vat ruwe olie flink verhogen. Katalytisch kraken gebeurt bij sommige zware fracties in aanwezigheid van water-

stof, waardoor de zware ketens selectiever worden opgeknipt en tegelijkertijd zwavel-, stikstof- en zuurstofhoudende verontreinigingen worden verwijderd. De waterstof maken veel raffinaderijen ter plaatse via stoomreforming van methaan uit aardgas (zie achterkant).

Behandeling met waterstof (hydrotreating) gebeurt om die reden ook met sommige andere fracties, om uitstoot van zwavel- en stikstofdioxide door auto's te beperken.

### ► Ooit raakt olie op

Het was geofysicus King Hubbert (1903 – 1989) die in 1956 de theorie opperde waarin de winning van aardolie in een veld, regio of land volgens een klokvormige grafiek verloopt, aanvankelijk kleinschalig startend, dan toenemend tot een piek, om daarna weer geleidelijk te dalen. Achter die grafiek zit een model dat rekent met oliereserves, ontdekking van nieuwe voorraden en winning. Hij voorspelde zo dat de aardolie-productie in de Verenigde Staten zou pieken tussen 1965 en 1970. Zijn voorspelling kwam in 1970 uit, al volgde er nog een opleving vanaf 2010 door de winning van schalieolie.

Zo'n klokvormige grafiek beschrijft ook de wereldwijde oliewinning, maar ondanks allerlei voorspellingen is de piek van de oliecurve nog niet waargenomen. Geen van die voorspellingen kwam uit en in 2021 en 2022 schommelt de jaarlijkse olieproductie rond de 35 miljard vaten.

De wereldoliereserves worden op dit moment geschat op circa 1700 miljard vaten. Met de huidige vraag van ongeveer 30 miljard vaten per jaar zit er nog voor een halve eeuw olie in de grond. Dat is een erg onnauwkeurige schatting, want sommige olievoorraden zitten in de diepzee of in teerzanden, wat winning (te) kostbaar maakt. Tot slot kunnen er nieuwe reserves bijkomen, en de vraag naar olie gaan dalen doordat elektrische auto's de nieuwe standaard worden.

Hoe dan ook: olie raakt ooit op, maar wanneer blijft nog even de vraag. Dat de oliesector productie uitdrukt in 'vaten' of 'barrels' betekent niet dat ruwe olie in vaten wordt vervoerd. Het is gewoon een maatstaf uit vervlogen tijden, die verwijst naar een vat van 159 l.

De standaard blauwe stalen vaten die tegenwoordig voor chemicaliën worden gebruikt hebben een volume van 200 l. De meeste ruwe olie wordt gewoon via pijpleidingen en tankschepen vervoerd.

Destillatie en kraken levert al met al weinig direct bruikbare motorbrandstof. Zo wordt nafta katalytisch omgevormd om betere verbrandingseigenschappen te krijgen in benzineauto's. Andere lichte fracties met propyleen en butyleen worden met waterstoffluoride omgevormd tot vertakte verbindingen die de kwaliteit van benzine verhogen. De productie van brandstof is een geraffineerde combinatie van scheiden, zuiveren, transformeren en mengen.

Olieraffinage heeft zich tientallen jaren gespecialiseerd in het produceren van LPG, benzine, diesel, kerosine en gasolie voor transport en in mindere mate voor energievoorziening en verwarming van industrie en gebouwen. Gemiddeld 50% van een vat ruwe olie wordt momenteel verwerkt tot transportbrandstof en gaat uiteindelijk in vlammen op, slechts 8-20% van een vat gaat richting petrochemische grondstoffen. Een voorbeeld is nafta wat je kunt gebruiken als bron van grondstof voor synthese van polyethyleen en polypropyleen.

Toch is het al lang helder dat raffinage niet eeuwig in dienst zal staan van transport. Internationale verdragen sturen op het terugdringen van de uitstoot van koolstofdioxide door afscheid te nemen van fossiele brandstoffen. Autofabrikanten bouwen steeds meer elektrische modellen en er is belangstelling voor biobrandstoffen en waterstof. De auto-industrie is wat dat betreft het verst met het ontwikkelen van groenere technologie.

### Voorspellingen

Het is duidelijk dat de vraag naar benzine en diesel op een gegeven moment zal gaan dalen, en dat geldt ook voor de winning van aardolie. Er zijn door de jaren vaak voorspellingen gedaan over wanneer de vraag naar ruwe olie in miljoenen vaten per dag zal pieken om vervolgens onherroepelijk te dalen (zie kader Ooit raakt olie op). Het Internationaal Energieagentschap (IEA) voorspelt tot 2025 in ieder geval nog groei in de vraag naar olie, vooral door economische groei in Azië. Andere voorspellingen gaan uit van 'peak oil' binnen tien à vijftien jaar.

Betekent dalende behoefte aan brandstof na 2035 dus gestage sluiting van oliebronnen en raffinaderijen? Waarschijnlijk niet. Oliemaatschappijen en chemiebedrijven denken al langer over dat scenario na, en ze zien nieuwe kansen aan de horizon: che-



Omdat de vraag naar kunststoffen blijft groeien, wordt steeds meer a

micaliën. De huidige focus op brandstof zal verschuiven richting de productie van petrochemische grondstoffen: etheen, propaan, butaan en aromaten, zoals paraxyleen, de grondstof voor synthese van polyester-vezels en PET-flessen. Oliemaatschappij BP voorspelt in de Energy Outlook 2022 dat afhankelijk van het toekomstscenario het aandeel van petrochemische grondstoffen in de vraag naar ruwe olie zal stijgen van minder dan 20% in 2019 richting 50% in 2050. Dat betekent dat over dertig jaar meer aardolie wordt verwerkt in kunststoffen dan in brandstof voor het wegvervoer. De industrie gaat kortom steeds meer aardolie versleutelen tot grondstof voor plastic, hars, rubber, verf en synthetische vezels. De motor achter die verandering is vooral de snelle economische groei in Afrika en





aardolie verwerkt tot polymeergrondstoffen, zoals deze polymeeresins.

Azië. Er ontstaat daar een nieuwe middenklasse met veel meer koopkracht; in 2030 telt die groep alleen in Azië al 3,5 miljard mensen. Daardoor groeit de vraag naar kleding, schoenen, auto's, banden, woningen, isolatiemateriaal, meubels, elektronica, kunstmest en voorverpakt voedsel. In en om die producten zitten koolwaterstoffen uit aardolie, en dat laat zien wat voor enorme groeiemarkt er is voor olieraffinage afgestemd op de petrochemie. Het vraagt wel een behoorlijke omslag voor de raffinagesector, waar gedurende enkele generaties alles was gericht op de efficiënte productie van benzine, diesel en kerosine. Sterker: de productie van petrochemicaliën was lange tijd eerder een bijzaak. Raffinaderijen die nafta produceerden voor verwerking in benzine, verkochten een deel aan chemische bedrijven die het in een

stoomkraker omzetten in ethyleen en propyleen. Propyleen ontstaat ook bij katalytisch kraken van zwaardere oliefracties tot benzine en diesel. Het aandeel propyleen kan met de juiste procesomstandigheden worden opgekrikt tot 20%.

### **Van raffinage naar petrochemie**

Er is dus een verschuiving mogelijk met uitbreiding en aanpassing binnen een bestaande raffinaderij, maar een aantal oliebedrijven gooit het roer radicaal om bij de bouw van nieuwe installaties waar raffinage en petrochemie hand in hand gaan. Zo is het Chinese Zhejiang Petroleum & Chemical (ZPC) vergevorderd met de bouw van twee raffinaderijen die elk 400.000 vaten olie per dag verwerken. De complexen zetten rond de 50% van elk vat ruwe olie om in petro-

chemische bouwstenen. Zo produceert de eerste Zhejiang-raffinaderij jaarlijks 4 miljoen ton para-xyleen, 1,5 miljoen ton benzene, 1,4 miljoen ton ethyleen, plus een reeks andere verbindingen.

De twee ZPC-raffinaderijen gebruiken vertrouwde raffinage-technologie, zoals stoomkraken van nafta en diesel en katalytisch kraken van zware olie. Des, alleen zijn die processen in de nieuwe fabriek helemaal gericht op petrochemische opbrengst. Tegelijkertijd werken onderzoekers en bedrijven aan nieuwe technologie die ruwe olie direct kan omzetten in bijvoorbeeld ethyleen en aromaten, zonder de traditionele tussenstap van destillatie. ExxonMobil heeft sinds 2014 een installatie in bedrijf in Singapore waar lichte ruwe olie wordt verhit en de damp die zo ontstaat wordt direct in een stoomkraker ge-



leid. De kunst daarbij is te voorkomen dat het deel van de olie dat niet verdampst vastkoekt, en het lukt alleen met de lichtere soorten aardolie.

De technologie van ExxonMobil toont het eindpunt van de trend richting aardolieraffinage gericht op chemie: crude oil-to-chemicals (COTC), ofwel de directe omzetting van ruwe olie in chemische grondstof. De verwachting is dat met dit soort gespecialiseerde procestechnologie uiteindelijk driekwart van een vat ruwe olie in chemische grondstof belandt.

### Miljarden euro's

Het bouwen van nieuwe raffinage- en petrochemische complexen kost tientallen miljarden euro's, dus aardoliebedrijven denken lang na voordat ze overstappen op aardolie-naar-chemie-technologie. Soms slaat de twijfel toe: Saudi Aramco en petrochemiebedrijf Sabic tekenden in 2017 een overeenkomst voor een petrochemisch complex van \$ 20 à 30 miljard dat vanaf 2025 jaarlijks negen miljoen ton etheen, aromaten en polymeren zou maken. Maar eind 2020 ging het plan door

economische tegenwind in de ijskast. De Saoedi-Arabische bedrijven richten zich nu op productie van chemicaliën in bestaande olieraffinaderijen.

Bedrijven kunnen dus ook een geleidelijke route kiezen om de vertrouwde brandstof-raffinage af te bouwen en tegelijkertijd petrochemische productie op te voeren. Maar het aanpassen van bestaande raffinaderijen met nieuwe technologie is ook kostbaar. Daarom zullen bij een dalende vraag naar benzine en diesel de komende tien tot twintig jaar waarschijnlijk de oudste raffinaderijen de deuren gaan sluiten. Tegelijkertijd staan er vooral in Azië de komende jaren tientallen nieuwe raffinaderijen in de planning, want daar groeit de vraag naar brandstof en petrochemie gewoon sneller dan in Europa en Noord-Amerika.

Sluiting dreigt vooral voor oude raffinaderijen die veel energie verbruiken en dus veel koolstofdioxide uitstoten. De raffinagesector moet namelijk in hoog tempo vergroenen en de komende jaren minder gaan uitstoten. Internationale klimaatverdragen worden vertaald in eisen van overheden,

en dat voelt ook deze industriesector. Tegelijkertijd lijkt klimaat-neutrale raffinage en petrochemie de komende vijftien jaar een onhaalbaar ideaal.

### Vergroening

Vergroening is onontkoombaar: de circa zevenhonderd olieraffinaderijen nemen zo'n 4% van de jaarlijkse koolstofdioxide-uitstoot voor hun rekening, goed voor circa 1,3 gigaton. Dat is niet het koolstofdioxide dat vrijkomt als auto's benzine of diesel verbruiken, maar uitsluitend de uitstoot van de raffinageprocessen.

Raffinaderijen zijn namelijk grootverbruiker van gas en elektriciteit en ze staan daardoor in de top drie van meest energie-intensieve bedrijfstakken. De reden is simpel: raffinage en opwerking van ruwe olie vraagt temperaturen tussen de 200 en 500°C, met uitschieters naar 800°C in de stoomkraker. Er is dus veel brandstof nodig om te verwarmen, zoals de fornuizen waar ruwe olie doorheen stroomt richting destillatietorens, of bij de productie van stoom en waterstof die kraakinstallaties verbruiken. Daarnaast vragen pompen en

### ► Kringloop via plastic-olie

Je kunt plastics mechanisch recyclen door ze in stukjes te hakken, te smelten en om te vormen tot bijvoorbeeld bloempotten en emmers. Maar veel verpakkingen bestaan uit gemengd en gekleurd kunststof, waarbij dat niet goed mogelijk is. Toch is het zonde om deze koolwaterstoffen naar de vuilverbrandingsoven te sturen. Chemisch recyclen kan de koolstof in de kringloop houden.

Petrochemiebedrijf SABIC neemt dit jaar een pilotfabriek in gebruik op het Chemelot-terrein bij Geleen, voor de chemische verwerking van plastic huishoudafval. SABIC werkt daarbij samen met het Britse Plastic Energy, dat een pyrolyse-methode heeft ontwikkeld die gemengd plastic afval onder vacuüm bij 300-400°C transformeert in olie (Tacoil). De pyrolyse-olie gaat de stoomkraker in met de bulkstroom nafta afkomstig uit aardolie, waar het wordt omgezet


in verse kunststofbouwstenen zoals ethyleen en propyleen.

Olie maken uit afvalplastic is technisch niet ingewikkeld, maar aanwezige verontreinigingen vragen wel aandacht. Stoomkrakers werken optimaal met schone koolwaterstoffen, met weinig zwavel, stikstof en zuurstof, maar die elementen komen mee in plasticadditieven zoals kleurstoffen, weekmakers en uv-filters. Daarom is het nodig om de pyrolyse-olie voor te behandelen. Echter, het startvolume plastic-olie is nu nog zo klein dat verontreinigingen niet in de weg zitten – 20 miljoen kg Tacoil per jaar is minder dan één promille van de naftastroom in Geleen.

Via certificering worden de tonnen gerecycled plastic toegeschreven aan een deel van de in Geleen geproduceerde polymeren. Verwerking van een kilogram plastic-afval levert via deze route een reductie van 2 kg koolstofdioxide in vergelijking met verbranding.







allerlei andere installaties op het terrein veel elektriciteit.

Grote raffinaderijen hebben niet voor niets een eigen energiecentrale, die elektriciteit en warmte produceert. Deze installaties worden grotendeels gestookt met restgassen (fuel gas), het methaanrijke bijproduct uit allerlei raffinageprocessen, vooral van de destillatie. Het raffinagecomplex wordt dus grotendeels gestookt met brandstof afkomstig uit ruwe olie. De zes Nederlandse raffinaderijen dekken met restgassen meer dan 60% van hun behoefte aan elektriciteit en warmte. Een andere belangrijke energiebron, met 25%, is aardgas.

Opgeteld produceren de fornuizen, energiecentrales, boilers, krakers en waterstofinstallaties van de Nederlandse raffinagesector 10,7 megaton koolstofdioxide. De fornuizen en waterstofproductie nemen daarvan opgeteld driekwart voor hun rekening. Ter vergelijking: het aardgasverbruik door Nederlandse woningen was in 2017 goed voor een uitstoot van 16,4 megaton koolstofdioxide.

### **Toekomstscenario's**

Veel Nederlandse raffinaderijen hebben sinds 2000 het energieverbruik en de emissies (toen ongeveer 12 megaton) al aardig gereduceerd. Per kilogram geraffineerd product stoten ze tegenwoordig minder koolstofdioxide uit, maar de sector is nog lang niet van gas los. Eén ding is zeker: met verdere besparingen worden olie-raffinage en petrochemie nooit klimaat-neutraal. Daarvoor zijn andere innovaties nodig zoals elektriciteit van windmolens en zonnepanelen, groene waterstof of biomethaan om fornuizen te stoken. Maar dat vraagt een betaalbare, stabiele aanvoer en proces-technologische innovaties. Er is bijvoorbeeld nog geen ervaring met industriële waterstoffornuizen.

In alle toekomstscenario's speelt daarom het grootschalig afvangen en opslaan van koolstofdioxide afkomstig van verbranding van restgassen (Carbon Capture and Storage, CCS) een hoofdrol. Alleen op die manier ligt een klimaat-neutrale raffinage in het verschiet. Ook hiervoor zijn grote investeringen nodig. Tegelijkertijd denken onderzoekers en bedrijven dat nieuwe katalysatoren, lagere temperaturen en directe omzetting van aardolie in petrochemie CO<sub>2</sub>-emissies verder kan terugdringen. Tot slot kan grootschalige raffinage van afvalplastic bijvoorbeeld via pyrolyse en vergassing de koolstofcirkel sluiten. ●





Olieraffinaderijen hebben waterstof nodig voor katalytische kraakinstallaties, waarin ze zwaardere aardoliefracties omvormen tot ingrediënten voor diesel en benzine. Raffinaderijen gebruiken daarbij aardgas (methaan) als waterstofbron, en dat geldt ook voor allerlei chemiebedrijven die ammoniak maken uit waterstof en stikstof. Waterstof produceren raffinaderijen momenteel via zogenoemde stoomreforming van methaan. Dat proces verloopt bij 800°C en vréét energie, waardoor het zorgt voor ongeveer 11% van de koolstofdioxide-uitstoot van de raffinagesector. In theorie is er een alternatieve bron, want waterstof kun je ook maken via grootschalige elektrolyse van water. Alleen is het dan wel zaak dat de elektriciteit niet afkomstig is van een gas- of kolengestookte centrale, want dat zou de uitstoot alleen maar verplaatsen. Waterstof uit hydrolyse gevoed met elektriciteit van windmolens en zonnecellen is wel emissievrij. Het belangrijkste obstakel op dit moment voor deze vorm van waterstofproductie is een gebrek aan goedkope zonne- en windenergie. Grootschalige aanleg van windparken op zee biedt de industrie pas op termijn toegang tot groene elektriciteit en waterstof.

## Voor op school

- 1 Op basis van welke stofeigenschap scheidde Samuel Kier met destillatie de ruwe olie?
- 2 Wat is het verschil tussen destilleren en kraken?
- 3 Waarom moet er een verschuiving plaatsvinden in de productie van vooral brandstoffen naar petrochemische stoffen?
- 4 Waarom is COTC het eindpunt van de trend richting aardolieraffinage gericht op chemie?
- 5 De Nederlandse raffinagesector stoot zo'n 10,7 megaton CO<sub>2</sub> uit. Hoeveel mol is dat? En hoe groot is het volume bij standaarddruk en -temperatuur?
- 6 Het chemisch recyclen van plastic levert soms propen op, een bouwstof voor polypropen. Teken de structuurformule van het monomeer propen en een stukje polypropen met drie monomeren.
- 7 Raffinaderijen hebben waterstof nodig voor verschillende processen. Waterstof kun je maken uit elektrolyse van water. Teken de reactievergelijking van dit proces.

## Meer weten?

- Larraz R. (2021) A Brief History of Oil Refining. *Substantia* 5(2): 129-152. doi: 10.36253/Substantia-1191
- Decarbonisation options for the Dutch refinery sector PBL / TNO, 2020
- Sunny Nixon, Bernardi Andrea, Danaci David, Bui Mai, Gonzalez-Garay Andres & Chachuat Benoît (2022) A Pathway Towards Net-Zero Emissions in Oil Refineries. *Frontiers in Chemical Engineering* 4, doi: 10.3389/fceng.2022.804163
- The Future of Petrochemicals: [www.iea.org/reports/the-future-of-petrochemicals](http://www.iea.org/reports/the-future-of-petrochemicals)
- Why the future of oil is in chemicals, not fuels. <https://cen.acs.org/business/petrochemicals/future-oil-chemicals-fuels/97/i8>

## Editie

### Aardolie

editie 98 | nummer 387 | september 2022

[www.chemischefeitelijkheden.nl](http://www.chemischefeitelijkheden.nl)

**Coverbeeld:** Olie werd vroeger het 'zwarte goud' genoemd.  
Credit: Shutterstock

## Colofon

Over Chemische Feitelijkheden

**KNCV**

Chemische Feitelijkheden is een actuele encyclopedie over moleculen, mensen, materialen en milieu.  
Het is een losbladige uitgave van de KNCV en verschijnt driemaal per jaar met in totaal tien onderwerpen.

### Redactie

Esther Thole (hoofdredacteur), Daniël Linzel (eindredactie en vragen),

Arno van 't Hoog (tekst)

**Vormgeving & Opmaak**

Content Innovators

### Uitgever

KNCV Media

Postbus 249, 2260 AE Leidschendam

**Abonnementen**

088-2266 680

[kncv@mijntijdschrift.com](mailto:kncv@mijntijdschrift.com)

Wij hanteren de opzegregels uit het verbintenissenrecht. Wij gaan ervan uit dat Chemische Feitelijkheden altijd wordt ontvangen uit hoofde van het beroep. Hierdoor wordt het abonnement automatisch met een jaar verlengd, tenzij twee maanden vóór de einddatum een opzegging is ontvangen. Een abonnement op Chemische Feitelijkheden geeft via de website toegang tot tien nieuwe edities per jaar en het totale onlinearchief. Daarnaast ontvangen abonnees in drie zendingen per jaar de losbladige edities.

### Tarieven (2022)

Voor particulieren: onlinetoegang met inlogcode en papieren editie kost € 102,50\* incl. btw; leden van de KNCV (of een van de secties), KVCV en NVON krijgen € 10 korting.

Voor bedrijven en (onderwijs)instellingen: onbeperkt toegang tot de digitale edities op basis van IP-adres en papieren editie in drievoud kost € 287\* excl. btw.

Losse nummers kosten € 9,95\* per stuk en zijn te bestellen bij Mijntijdschrift.com.

\*Bij betaling per factuur wordt € 2,95 administratiekosten in rekening gebracht.