

INDUSTRIE IN TRANSITIE

Hoe
inconsistenties in
het huidige
denken over de
industrie de sleutel
zijn tot grote
klimaatkansen

Een visie
op de
toekomstige
energie- en
grondstofvraag
van de
energie-intensieve
industrie in Nederland



Dr. Ir. C. John Kerkhoven & Rob Terwel B.A. & B.Sc.

Industrie in transitie

Hoe inconsistenties in het huidig denken over de industrie de sleutel zijn tot grote klimaatkansen

Een visie op de toekomstige energie- en grondstofvraag van de energie-intensieve industrie in Nederland

Colofon:

Quintel Intelligence

20 juni 2016

Tekst: John Kerkhoven & Rob Terwel

Online: <http://energietransitiemodel.nl/industrie-in-transitie>

Nadenken over energie is moeilijk en verwarrend.
Energie is meestal onzichtbaar
soms voel je het, heel soms zie je het,
maar meestal niet.

Het is verwarrend dat we energie in het dagelijks leven
benoemen in kWh, liters brandstof en m³ gas.

Bijna niemand weet dat 1 kWh
ongeveer 10x minder energie is dan
1 liter benzine, 1 liter diesel of 1 m³ aardgas.

Het wordt nog verwarrender als we op nationaal niveau praten over energie;
dan spreken we meestal over de eenheid PJ.

1 PJ is een Joule met 15 nullen
Bijna niemand begrijpt wat een getal met 15 nullen is
of wat een Joule is.

1 PJ is ongeveer hetzelfde als
het huidige jaarlijkse elektriciteitsgebruik van 84.000 Nederlandse huishoudens.

Je kunt momenteel met 1 PJ ongeveer
18.000 Nederlandse huishoudens één jaar lang verwarmen met aardgas.

1 PJ is ongelofelijk veel energie.

Onze Nederlandse samenleving gebruikte het afgelopen jaar
4600 PJ primaire energie;
dit is inclusief 900 PJ
aardgas en de biodiesel
die we zelf produceren en exporteren
maar nog zonder de energie die in zeeschepen en vliegtuigen gaat.

Onze Nederlandse samenleving gebruikt immense hoeveelheden energie.

De energie-intensieve industrie gebruikt op jaarbasis ongeveer
1520 PJ primaire energie en 1340 PJ finale energie,
voornamelijk aardolie, aardgas en kolen,
met als toepassing brandstof en grondstof
en is daarmee de grootste gebruiker van energie in Nederland.

Het is belangrijk beide toepassingen te noemen,
omdat zowel bij het verbranden als bij de inzet als grondstof
CO₂ kan vrijkomen.

Samenvatting

Dit rapport is een discussiestuk, bedoeld om de dialoog over de energietransitie in de industrie te stimuleren. Bij de zoektocht tijdens het schrijven van dit rapport stonden CO₂-reductie en het welzijn van de mens centraal.

In dit rapport bespreken we 8 belangrijke exogene trends die niet consistent (of helemaal niet) worden meegenomen in het overgrote deel van de energiescenario's die de afgelopen jaren zijn gepubliceerd. Deze trends zouden de komende jaren een significante invloed kunnen gaan hebben op de omvang en structuur van de Nederlandse energie-intensieve industrie. Specifiek verwachten wij dat, ten gevolge van de geïdentificeerde trends, de energievraag van de industrie in CO₂-arme scenario's evenals de inzet van biomassa ter vervanging van fossiele brandstoffen sterk zullen veranderen. Deze trends bieden daarnaast, wanneer goed gefaciliteerd en geanticipeerd, iets wat wij klimaatkansen willen noemen: mogelijkheden om de industrie enerzijds competitiever en anderzijds duurzamer te maken. Het is opvallend dat de huidige industrieën in hun eigen visie en strategie momenteel grotendeels blind lijken voor het hier beschrevene en slechts beperkte netto veranderingen anticiperen.

Het is onwaarschijnlijk dat met dit rapport alle belangrijke klimaatkansen in de huidige klimaatneutrale energiescenario's zijn belicht. Desalniettemin is de onderstaande set van 8 trends volgens ons een goed startpunt voor de discussie over het energiegebruik van de energie-intensieve industrie en de op handen zijnde structuurveranderingen van die industrie. De zwarte tekst geeft de lezer het verhaal, *de blauwe tekst is bedoeld om de geïnteresseerde lezer van aanvullende kwantitatieve informatie te voorzien.*

De 8 klimaatkansen die we in dit rapport bespreken, zijn:

1. De groei van elektrische voertuigen en de groei van raffinaderijen.

Elektrische voertuigen worden steeds beter en populairder. Zij rijden op elektriciteit of waterstof en behoeven dus geen transportbrandstoffen uit de Nederlandse raffinaderijen. We laten zien dat de afzet van raffinaderijen de komende jaren met 46-70% kan gaan dalen als gevolg van het enthousiasme dat in de samenleving en de politiek aan het ontstaan is over de elektrische emissieloze auto.

Het energetische gebruik van de raffinaderijen bedroeg in 2013 156 PJ. Dit zou kunnen dalen tot 47 PJ indien elektrische voertuigen maximaal ingezet worden en de scheepvaart over gaat op LNG. Het deel van het non-energetische aardolieverbruik dat bestemd is voor brandstofproductie voor het Nederlandse wegverkeer daalt van 466 PJ naar 0 PJ. De energetische CO₂-besparing die voortkomt uit het eigen gebruik van raffinaderijen is dan ongeveer 8 Mton.

2. De opkomst van de zelfrijdende auto en de groeiende metaalindustrie.

Zelfrijdende auto's maken van de bestuurder een passagier. De auto verandert van een gewilde vorm van bezit naar een dienst die eenvoudig en tegen tot 75% lagere kosten afgenomen kan worden. Als zelfrijdende auto's gedeeld worden, volstaat bij het huidige gebruikspatroon 10% van het huidige wagenpark om mensen in hun mobiliteitsbehoefte te voorzien. Leveranciers van autocomponenten, en vervolgens de chemische industrie en metaalindustrie, zullen daarom hun afzet en omzet zien afnemen.

De consequentie is dat het aantal auto's dat fysiek in onze samenleving nodig is, zal decimeren. Daarmee valt bijna 90% van de omzet die de staalindustrie nu heeft aan de automotive sector weg. Dit is 16% van de totale omzet van de staalindustrie in Europa. In totaal verlaagt dit de energievraag met 14 PJ in Nederland. Daarnaast komt er in Europa bijna 2.5 keer de Europese jaaromzet aan staalproductie vrij uit de 90% auto's die niet meer nodig zijn in onze maatschappij. Het verbruik van de chemische industrie in Nederland die producten levert aan de automobielindustrie vermindert dan eveneens met 90%, oftewel met 9 PJ.

3. Kunstmest uit aardgas en kunstmest uit weerstroom (zon- en windstroom).

Op dit moment maken we in Nederland grote hoeveelheden kunstmest met aardgas als grondstof. Bij dit proces wordt aardgas omgezet in waterstof en komt CO₂ vrij. In scenario's met weinig CO₂ uitstoot is er vaak meer weerstroom beschikbaar dan er wordt gebruikt. Deze "overschotten" kunnen ingezet worden om het aardgas bij het maken van kunstmest geheel te vervangen door waterstof dat via elektrolyse uit weerstroom wordt gemaakt, zonder dat er CO₂ vrijkomt.

In heel Nederland zou het inzetten van power to gas ter vervanging van aardgas reforming ten behoeve van de productie van waterstof in de kunstmestindustrie kunnen leiden tot een reductie van aardgasgebruik van 77 PJ (67 PJ non-energetisch en 10 PJ energetisch). Dit staat gelijk aan een CO₂-besparing van ruim 0.5 Mton.

4. Petrobased chemie en biobased chemie

Voor de fabricatie van een chemisch product is het belangrijk om te beginnen met een grondstof die zo min mogelijk energetisch intensieve stappen hoeft te ondergaan. Ook in CO₂-arme scenario's is het vaak energetisch gezien het beste om fossiele stoffen als grondstof in te zetten in de chemie. Een intelligente combinatie van bio- en fossiele grondstoffen zou het beste passen in een CO₂-arme samenleving. Een complete biobased economy is waarschijnlijk een onverstandige utopie.

Door een slimme combinatie van petro- en biobased chemie kan ongeveer 14 PJ (4 PJ energetisch, 10 PJ non-energetisch) bespaard worden in de Nederlandse chemie. Tevens zou naar schatting 20 PJ aan fossiele energie vervangen kunnen worden door (overschotten) weerstroom via power-to-products.

5. De groei van de papier- en kartonindustrie en de groei van digitalisering.

Bij deze inconsistentie gaat het niet primair om de overduidelijke teloorgang van grafisch papier door digitalisering, maar juist om de groei van de vraag naar karton als gevolg van het bestellen van goederen via internet. Diezelfde digitalisering, maakt nu business modellen mogelijk die meermalige plastic verpakkingen voor e-commerce doeleinden beschikbaar maken. Hierdoor kan de vraag naar karton voor deze doeleinden sterk gaan afnemen.

Als de daling in de consumptie van grafisch papier doorzet, neemt het energieverbruik af met ruim 5 PJ. Indien de vraag naar verpakkingsmateriaal blijft groeien, maar meermalige verpakkingen hierin voorzien, neemt het energieverbruik van de papierindustrie af met nogmaals 5 PJ. De reductie van de energievraag als gevolg van deze exogene trends op deze industrie zou ruim 10 PJ (op 23 PJ) kunnen zijn.

6. Dierlijk eiwit en plantaardig eiwit

De gemiddelde Nederlander eet momenteel anderhalf keer zoveel vlees (en eiwit) als door de wetenschap als gezond beschouwd wordt. In de politiek wordt er gesproken over een voedselagenda om de transitie naar gezondere voeding te stimuleren. Ook op basis van het zoekgedrag van Nederlanders op internet is er een toenemende interesse in gezonde voeding vast te stellen. Er kan veel worden gewonnen als menselijke voeding efficiënter zou worden ingericht met “efficiënt vlees” en plantaardig eiwit. Dit is een triple win met betere gezondheid, minder beslag op gronden en veel minder energiegebruik en CO₂-uitstoot.

De scope voor reductie van energievraag is 2 PJ op 4 PJ in de vleesindustrie en 1.2 PJ op 19 PJ in de zuivelindustrie, als men overstapt op een invulling van de eiwitbehoefte met gezonde hoeveelheden vlees. Dit leidt tevens tot een CO₂-besparing van 8.3 Mton en maakt een stuk land vrij van 12,750 km² (70% van Nederlands landbouwareaal). Indien men collectief een vegetarisch eetpatroon opneemt, is de afname van de energievraag in de vleesindustrie 3.4 PJ, de CO₂-besparing 13.9 Mton en het vrijkomend land meer dan 20.000 km² groot. Bij een vegetarisch dieet bedragen deze waarden ongeveer 13.9 Mton en 25,000 km².

7. De centrale mengveevoeder industrie en decentrale grasraffinage

Veevoer (krachtvoer) betreft doorgaans sojaschroot dat door dieren op een inefficiënte manier omgezet wordt tot de eiwitten en stoffen die zij nodig hebben. Met decentrale grasraffinage kunnen eiwitten en aminozuren uit gras gehaald worden, waarbij essentiële aminozuren beschikbaar komen voor varkens en mensen en de overige aminozuren nog steeds geschikt zijn als volwaardige voeding voor de koe. De eiwit-yield uit gras is hoger dan die uit soja en bovendien energetisch gunstiger. Daarnaast zetten dieren deze eiwitten op een efficiëntere manier om en is dit een oplossing voor het mestoverschot.

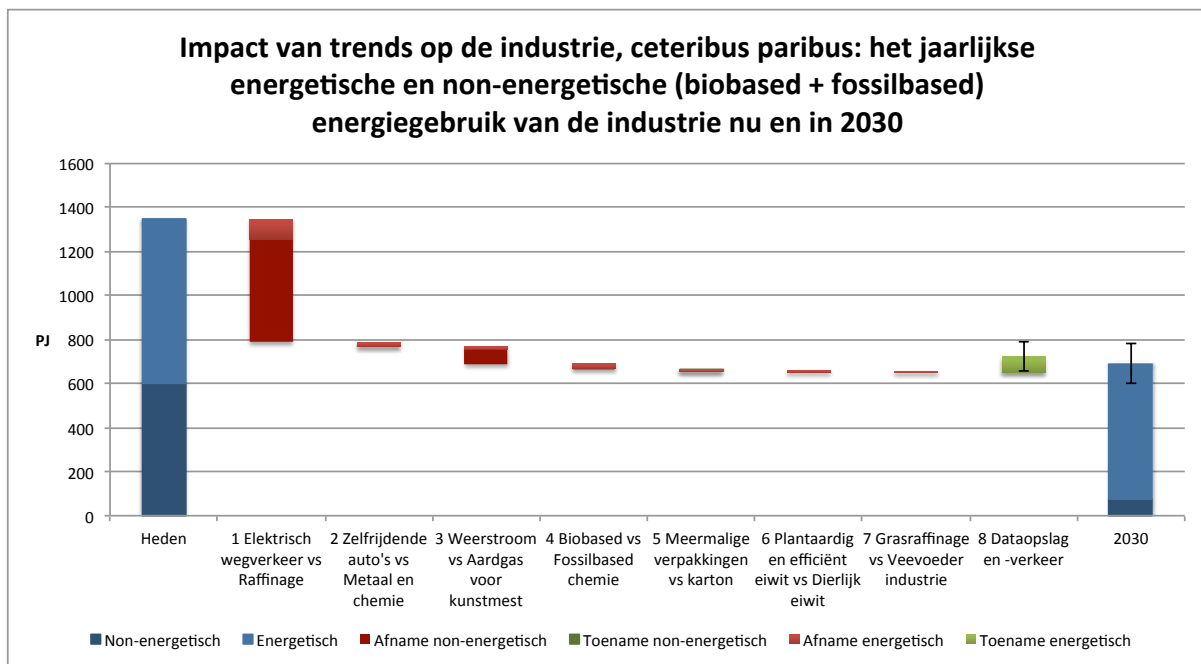
Grasraffinage kan leiden tot een energetische besparing van 6.8 PJ binnen de hele veevoerketen, waarvan 3.4 PJ binnen Nederland. Hierbij wordt tevens netto 1,800 km² land vrijgespeeld, en 5,000 km² indien dit land dubbel ingezet wordt (voor veehouderij en grasraffinage).

8. De nieuwe energie-intensieve industrie: dataopslag en -verkeer

De nu al omvangrijke dataopslag en data-communicatie sector ervaart een exponentiële groei van momenteel 20% per jaar. In dit hoofdstuk wordt het idee geponeerd dat deze sector de meest energie-intensieve industrie van de toekomst zal worden. Gelukkig is het wel mogelijk om in de toekomst deze industrie te voorzien van duurzame elektriciteit zonder de inzet van fossiele brandstoffen.

Het is moeilijk om de groei van deze industrie in te schatten. Deze industrie gebruikt momenteel ruim 15 PJ aan energie in Nederland. In de toekomst zou dit volgens ons ergens tussen de 25 en 154 PJ in 2030 en tussen de 35 en 300 PJ in 2050 kunnen zijn, waarbij 300 PJ waarschijnlijker lijkt dan 35 PJ. Daarbij nemen we aan dat optical en quantum computing voorlopig nog niet commercieel beschikbaar zullen zijn.

Het onderzoek naar bovenstaande 8 trends laat zien dat de toekomst van de industrie er heel anders kan gaan uitzien dan we nu in de Nederlandse energiescenario's meenemen.



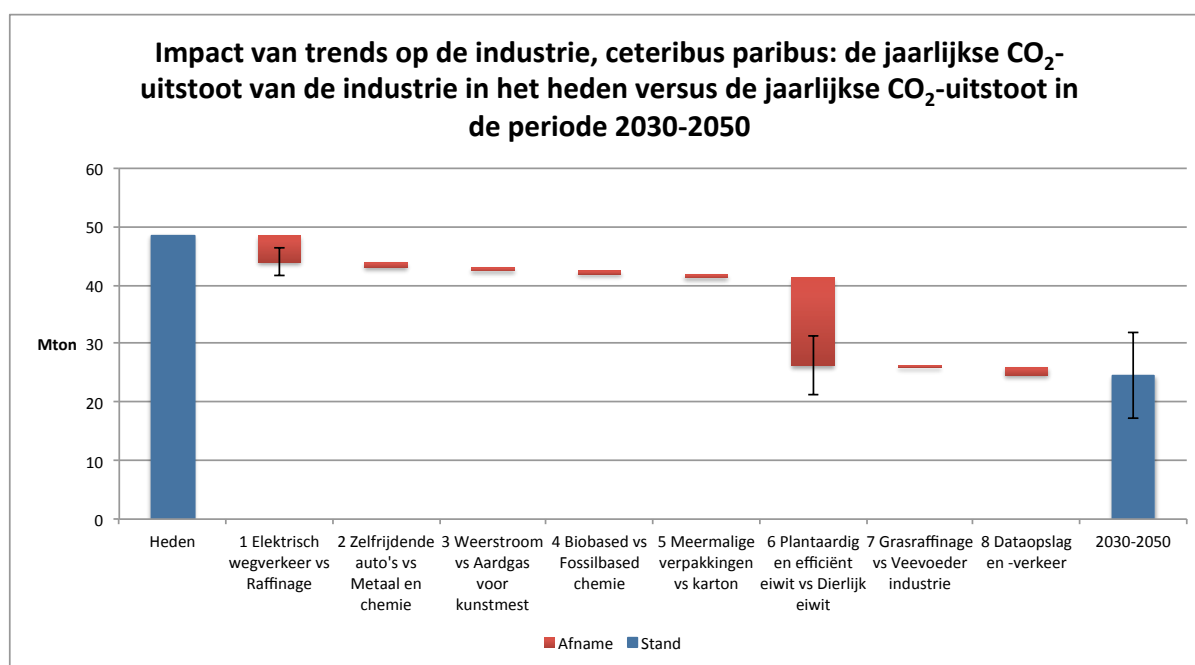
Figuur 1: Impact van trends op de industrie, overige omstandigheden gelijk blijvend; heden versus 2030 m.b.t. jaarlijks energie- en grondstofgebruik van de industrie.

Figuur 1 laat zien dat een combinatie van alle besproken trends kan leiden tot een reductie van het jaarlijkse energetische en non-energetisch energiegebruik van de industrie van ongeveer 530-720 PJ in 2030. Het huidige jaarlijkse finale energiegebruik (energetisch en non-energetisch) in 2013 in alle industrieën was 1,340 PJ¹. Deze reductie staat dus grofweg gelijk aan een halvering. Dit is dan ook waarschijnlijk de “fout” die gemiddeld genomen aanwezig zal zijn in energiescenario's die deze trends niet expliciet meenemen voor de industrie. In deze figuur is enkel rekening gehouden met de inconsistenties; alle andere getallen zijn gelijk gehouden tussen het heden en 2030.

¹ Exclusief het non-energetische gebruik van de raffinaderijen ten behoeve van internationaal, buiten Nederland geconsumeerde brandstoffen voor transport

Het merendeel van het verschil zit in de impact die elektrische voertuigen hebben op raffinaderijen. Daarnaast zorgen een slimmere productieketen voor ammoniak (voor kunstmest) en de groei van de centrale dataopslag en -verkeer ook voor een verschil van tientallen PJ.

Indien deze trends meegenomen worden uit de scenario's, zoals die recent voor Urgenda (Visie 2030)² en de RLI (95% CO₂ reductie)³ zijn gemaakt, dan treedt daar zoals verwacht een significante verandering van het energie- en grondstoffengebruik op. Deze scenario's behoeven nu jaarlijks 80-120 PJ (Urgenda 100% hernieuwbare energie) en 110-150 PJ (RLI, 95% CO₂-reductie) minder biomassa ten behoeve van de productie van hoge temperatuur-warmte. In deze scenario's waren voor dit doeleinde fossiele brandstoffen namelijk gesubstitueerd door biomassa. Daarnaast zijn jaarlijks 460 PJ (Urgenda) en 800 PJ (RLI) minder fossiele en biobased grondstoffen nodig. De vraag naar duurzame elektriciteit stijgt daarentegen; maar indien deze vraag flexibel is, zouden de in deze scenario's reeds beschikbare overschotten daarvoor ingezet kunnen worden.

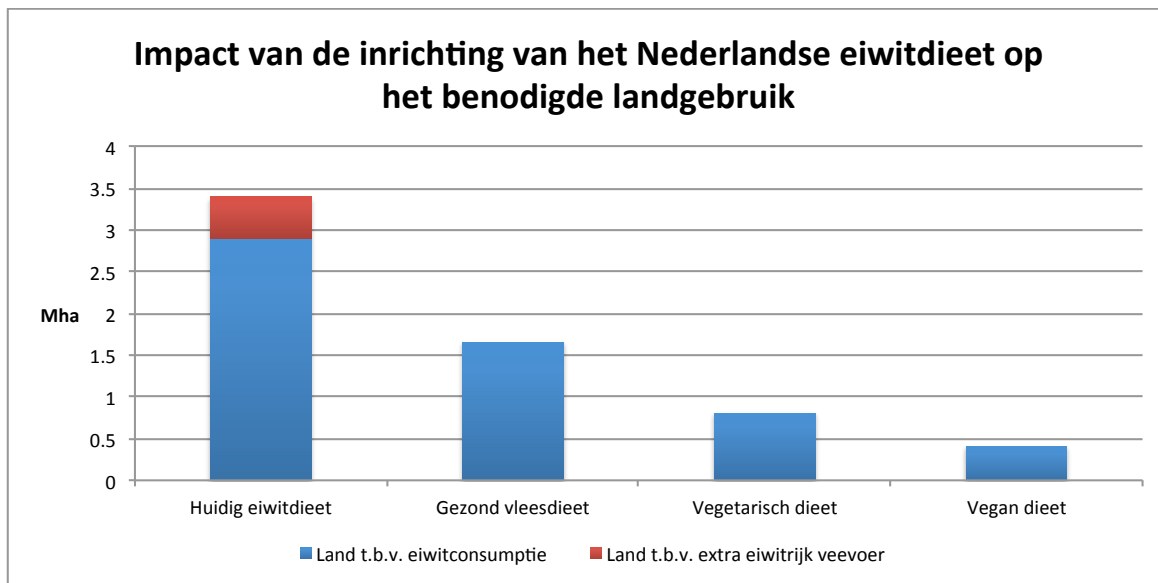


Figuur 2: Impact van trends op de industrie, overige omstandigheden gelijk blijvend; heden versus periode 2030-2050 m.b.t. jaarlijkse CO₂ uitstoot van de industrie.

Figuur 2 laat zien hoe de CO₂-uitstoot van de industrie zelf verandert door deze trends. Behalve de reductie van CO₂ die plaatsvindt door het afnemende energetische gebruik van de raffinaderijen (door elektrificatie van het wegverkeer), is er met name veel te winnen is door aanpassing van het voedingspatroon. Dit opent de weg om niet alleen CO₂-uitstoot te vermijden, maar ook, zoals in figuur 3 te zien is, veel landbouwgrond vrij te spelen.

² Urgenda (2013): Nederland 100% Duurzame Energie in 2030.

³ Quintel Intelligence (2015): Beelden van een CO₂-arme Nederlandse Samenleving in 2050.



Figuur 3: Indirecte impact van voedseldieet op de industrie, overige omstandigheden gelijk blijvend; de impact van het huidige eiwit dieet en andere diëten op het landgebruik.

Figuur 3 toont de impact die de transitie naar een ander voedselpatroon kan hebben op het daarvoor benodigde landgebruik. Het is evident dat er een enorme scope voor verbetering is, indien het voeden van mensen met de juiste eiwitten het einddoel is. Grasraffinage draagt hier bijvoorbeeld ook sterk aan bij door de dierlijke eiwitketen efficiënter te maken. Het aldus vrijgekomen land biedt veel mogelijkheden, ook voor de industrie, aangezien ditzelfde land (deels) ingezet kan worden ten behoeve van biobased energie- en grondstoffen.

De hierboven beschreven impact van de 8 trends is uiteraard een *mogelijke* impact. Deze trends zijn ten behoeve van deze denkoefening volledig doorgetrokken om een mogelijke ofwel maximale impact te vinden. Het is natuurlijk onzeker in welke mate en met welke snelheid zij zich zullen doorzetten. Daarnaast zullen er zich waarschijnlijk ook andere ontwikkelingen en technologieën aandienen.

Dat neemt echter niet weg dat al met deze 8 exogene trends en de daaruit voortkomende klimaatkansen een structureel andere industrie voorstelbaar gemaakt kan worden. In een vervolgfase van dit onderzoek zal in overleg met de industrie en overheid onderzocht worden hoe deze klimaatkansen vervolgens in de industrie en landbouw verwezenlijkt kunnen worden. Indien de overheid de hier beschreven trends consistent faciliteert en de industrie er op anticipeert, dan zal de industrie competitiever worden en de energietransitie sneller verlopen. Tot slot zullen uit dit overleg waarschijnlijk ook weer nieuwe klimaatkansen voortkomen, die onze energietoekomst en ons begrip daarover zullen verrijken.

Inhoudsopgave

Samenvatting	1
Inhoudsopgave	8
Voorwoord	12
De toekomstige energievraag van de energie-intensieve industrie wordt verkeerd ingeschat	13
<i>Quintel miste diverse klimaatkansen binnen de industrie</i>	13
<i>Ook andere externe partijen misten deze klimaatkansen</i>	15
<i>De industrie zelf zag deze klimaatkansen ook niet</i>	16
<i>Waarom zien we deze klimaatkansen niet?</i>	17
<i>Wat zijn de gevolgen van het missen van deze klimaatkansen?</i>	18
<i>Welke exogene trends die bestaande industrieën structureel kunnen veranderen zien wij?</i>	20
<i>Het ontstaan van toekomstbeelden voor de industrie vanuit klimaatkansen uit exogene trends</i>	21
Klimaatkans 1: Raffinaderijen en elektrisch vervoer	23
<i>Context</i>	23
De aardolie-industrie denkt dat we tot 2040 voornamelijk op aardolie zullen rijden en dat raffinaderijen nog groeien	23
De visie van aardoliemaatschappijen als Shell, BP en Exxonmobil staat haaks op de politieke mobiliteits ambitie van de Nederlandse overheid.....	24
Bij de helft van de afzet van raffinaderijen betreft op massabasis brandstoffen voor het wegverkeer	24
<i>Trend</i>	26
Elektrische auto's worden steeds beter; het aantal voertuigen dat emissieloos kan rijden groeit in Nederland en Europa	26
<i>Impact</i>	28
De raffinaderijen zullen misschien niet verdwijnen, maar wel met maximaal 45% tot 70% in volume krimpen	28
De introductie van de elektrische auto geeft ruimte voor een schonere (zee)scheepvaart	29
<i>Discussie</i>	31
Klimaatkans 2: De metallurgische industrie en zelfrijdende deelauto's	32
<i>Context</i>	32
De routekaart van de metallurgische industrie vermeldt geen enkele connectie tussen zelfrijdende deelauto's en metaalproductie	32
<i>Trend</i>	33
Zelfrijdende auto's verschijnen waarschijnlijk het komende decennium in Europa	33
Bij de introductie van zelfrijdende deelauto's zullen jongere generaties waarschijnlijk early adopters zijn, aangezien zij meer op beleving en minder op bezit gericht zijn dan hun ouders ..	33
<i>Impact</i>	34
Zelfrijdende auto's zullen het afzetvolume aan de automotive sector van de metaalindustrie flink reduceren.....	34
Zelfrijdende deelauto's kunnen meer dan 75% goedkoper zijn per km dan auto's in privébezit	36
We gaan veel meer kilometers maken als het goedkoper en minder vermoeiend wordt om te reizen	36

De introductie van zelfrijdende auto's leidt naast lagere kosten tot meer tijd, fors lagere CO2-uitstoot, minder ongevallen etc.....	37
<i>Discussie</i>	38
Klimaatkans 3: Kunstmest uit aardgas en kunstmest uit (overschotten) weerstroom	39
<i>Context</i>	39
Ammoniak, een belangrijke grondstof voor kunstmest, wordt momenteel geproduceerd uit stikstof en waterstof dat middels een energie intensief proces uit aardgas verkregen is	39
<i>Trend</i>	41
Er komen overschotten aan weerstroom en de elektriciteitsprijs gaat waarschijnlijk dalen, waardoor elektrolyse als waterstofproductietechniek zeer interessant wordt	41
<i>Impact</i>	43
Klimaatkans 4: Petrobased chemie en biobased chemie	44
<i>Context</i>	45
De Nederlandse chemische industrie verwacht dat in 2030 15% van haar grondstoffen biobased is.....	45
<i>Trend</i>	46
Biobased chemie kan energetisch interessant zijn voor eindproducten waar een behoefte is aan koolwaterstoffen met functionele groepen	46
Biobased chemie is interessanter naar mate de complexiteit van het startmolecuul behouden wordt en zo min mogelijk structuurveranderingen plaatsvinden.....	48
Petrobased chemie is daarentegen juist vaak energetisch interessanter daar waar processen en producten koolwaterstoffen (zonder functionele ketens) behoeven	50
<i>Impact</i>	51
Doordat processen met warmteoverdracht kapitaalintensief zijn, vragen kortere en slimmere wegen van grondstof (fossil danwel bio) tot product om minder kapitaal en is decentralisatie een optie.....	51
Het (her)evalueren van de inzet van zowel petrobased als biobased grondstoffen zou moeten leiden tot een slimmere inzet van beiden, reductie in CO2-uitstoot en lager energiegebruik	51
Het klimaatprobleem van de chemische industrie is dus niet noodzakelijk het gebruik van fossiele grondstoffen, maar het gebruik van fossiele brandstoffen	52
Power to products, een flexibele afstemming van productieprocessen op overschotten, leidt tot duurzamer en goedkoper energiegebruik	52
Power to products is ook een kans voor de chemische industrie om haar concurrentiepositie te verbeteren	53
<i>Discussie</i>	54
Klimaatkans 5: De papierindustrie en meermalige verpakkingen.....	55
<i>Context</i>	55
De vraag naar grafisch papier daalt met meer dan 10% per jaar voornamelijk als gevolg van digitalisering van media	55
De productie van karton groeit juist met meer dan 3% per jaar in Nederland.....	56
<i>Trend</i>	57
Het is denkbaar dat we afstappen van het verpakken van spullen die we bestellen op internet in grote hoeveelheden karton	57
Meermalige verpakkingen à la Repack vragen om lagere energiekosten per gebruik dan enkelvoudige kartonnen pakken, juist door het veelvuldige gebruik.	58

<i>Impact</i>	59
Klimaatkans 6: Dierlijk eiwit en plantaardig eiwit	61
<i>Context</i>	61
De uitdaging is om bijna 10 miljard mensen in 2050 van gezond, veilig en voedszaam voedsel en onvervuild drinkwater te voorzien.....	61
De gemiddelde mens heeft een energiebehoefte van 2,250 kcal per dag en heeft daarnaast bepaalde stoffen in afgestemde hoeveelheden, waaronder 9 essentiële aminozuren en vitamines	61
De Nederlander eet teveel eiwit in de vorm van vlees.....	62
De gevolgen van deze vleesconsumptie en levensstijl op energiegebruik, landgebruik en CO2-uitstoot zijn groot	63
<i>Trend</i>	65
De interesse in gezond, vegetarisch en veganistisch eten als geuit in zoektermen op Google neemt steeds meer toe.....	65
De vleesconsumptie zou teruggebracht kunnen worden door heffingen, langdurige informatievoorziening en verkoopquota van plantaardige eiwitten.....	65
De verminderde vraag naar vlees kan deels ingevuld worden door ander, efficiënter vlees en plantaardige eiwitproducten	66
Algen en kweekvlees leveren op langere termijn wellicht een bijdrage aan de invulling van de eiwitbehoefte.....	67
Er bestaan reeds vleesvervangers met een zeer vergelijkbare smaak als vlees, een acceptabele prijs en een zeer hoge eiwittefficiëntie	68
<i>Impact</i>	69
Met de komst van een voedselbeleid en de aanwezigheid van voldoende gewaardeerde plantaardige eiwitten kan er op korte termijn een grote stap in de eiwittransitie gemaakt worden.....	69
Minder vlees biedt een win-win-win situatie: gezondere mensen, energiegebruik, CO2-uitstoot en landgebruik verminderen en land en oogsten vrijmaken voor andere mensen	69
Het hiermee vrijgekomen land kan ingezet worden voor andere doeleinden.....	70
Het vrijgekomen land ten behoeve van veevoer kan direct worden ingezet voor de productie van eiwitrijke planten	70
<i>Discussie</i>	70
Klimaatkans 7: De centrale mengvoeder industrie en decentrale grasraffinage	72
<i>Context</i>	72
Grazende dieren zetten (delen van) gras op een inefficiënte manier om in nuttige bouwstenen waarmee ze nieuwe eiwitten opbouwen.....	72
<i>Trend</i>	73
Decentrale grasraffinage kan op een efficiëntere manier voorzien in de aminozuurbehoefte van mensen en eiwitbehoefte van dieren	73
Volgens diverse berekeningen is grasraffinage financieel haalbaar en rendabel, zowel voor basale raffinage als raffinage tot specifieke aminozuren	74
<i>Impact</i>	75
Grasraffinage kan decentraal plaatsvinden en vormt een oplossing voor het mestoverschot	75
De eiwitopbrengst uit gras per hectare is 40% hoger dan die uit soja, en zo hoog dat grasraffinage op het Nederlandse grasland voldoet voor de eiwitbehoefte van al het	

Nederlandse vee.....	75
Zowel de productie van plantaardig eiwit als de omzetting van plantaardig eiwit naar dierlijk eiwit zijn door grasraffinage energetisch efficiënter met respectievelijk een factor 4.4 en 1.5 ...	76
<i>Discussie</i>	77
Klimaatkans 8: Een “nieuwe energie-intensieve industrie”: dataopslag en -verkeer.....	79
<i>Trend</i>	79
Verwachte trends van het komende decennium zijn Pervasive Computing, Internet of Things, Big data, Cloud en Efficiency	79
De capaciteit en het energiegebruik van centrale ICT servers en datacenters groeien met ongeveer 20% per jaar	79
<i>Impact</i>	80
Het energiegebruik van de centrale ICT sector zal waarschijnlijk voorlopig fors blijven toenemen. 80	
Efficiëntieverbeteringen zijn onder andere te vinden in het verhogen van de bezettingsgraad van servers en het verminderen van het aantal ongebruikte servers	81
Ook aan de consumentenzijde leiden deze trends tot een toename van het aantal apparaten, maar ook tot efficiëntere apparaten.....	84
<i>Discussie</i>	84
De Nederlandse industrie in een klimaatneutrale toekomst	85
Slotnoten	89
Appendix 1:	
Impact van de inconsistenties op een tweetal scenario’s: Urgenda 2030 en RLI 2050.....	91
Urgenda 2030 revisited.....	93
RLI 2050 revisited.....	96
Appendix 2:	
Berekeningen Papier- en kartonindustrie	98

Voorwoord

Dit rapport is voornamelijk tot stand gekomen op basis van desk-research en onze jarenlange ervaring met het maken van energiescenario's met het Energietransitiemodel (ETM). Veel in dit rapport staat nog ter discussie. Het is dan ook een extreme denkoefening bedoeld om de dialoog over de energietransitie in de industrie te stimuleren.

Dat we in de toekomst de uitstoot van broeikasgassen zo veel mogelijk proberen te vermijden en de opwarming van de aarde willen beperken wordt als belangrijke randvoorwaarde meegenomen in dit rapport, evenals de wens dat het welzijn van de mens groeit. Dit vormt dan ook enerzijds de verbinding tussen energie, biomassa, grondstof, voedsel en landgebruik en anderzijds de reden dat we ook voedselvoorziening en landbouw betrekken in de discussie over de industrie van de toekomst. We gaan dus op een holistische en systematische wijze op zoek naar een zinvolle en betere balans voor het welzijn van de mens.

In dit rapport proberen we een beeld te creëren hoe de Nederlandse industrie zich kan gaan ontwikkelen binnen bovenstaande randvoorwaarden en wensen. Op hoofdlijnen lijkt het mogelijk en soms zelfs zeer waarschijnlijk dat de industrie een grote verandering door zal gaan maken, die zal zorgen voor zowel structuurveranderingen van die industrie als veranderingen in het energiegebruik in de Nederlandse samenleving.

Dit rapport gaat over een aantal (meestal exogene) trends, die hun invloed kunnen doen gelden op de bestaande industrie. Dit rapport probeert de logische consequenties van die trends op de industrie te bepalen in de situatie dat ze zich volledig zou doorzetten. Daarmee kunnen dan o.a. de gevolgen voor het energiegebruik en in het bijzonder het biomassa-gebruik van die industrie in de toekomst worden ingeschat.

De eerste fase van dit onderzoek is gedeeltelijk gefinancierd door Quintel Intelligence zelf, deels door GasTerra en deels door Urgenda. In de volgende fase van het onderzoek willen we in overleg met de verschillende industrieën en de overheid onderzoeken of de geschetste visie in dit document robuust is en hoe diverse "klimaatkansen" gerealiseerd kunnen worden. Vervolgens gaan we het Energietransitiemodel verbeteren om betere energiescenario's voor Nederland te kunnen creëren.

Tenslotte. Een bijzonder woord van dank gaat naar Rob Terwel, die dit rapport op een niveau heeft gebracht dat ik zelf niet zou hebben gehaald. Het lijkt erop dat elke ingewikkelde studie die Rob oppakt, inclusief deze studie t.b.v. de industrie, Magna Cum Laude wordt afgerond. Het is een voorrecht om met zo'n getalenteerde jonge collega te mogen werken.

Dr. Ir. C. John Kerkhoven
Partner Quintel Intelligence

De toekomstige energievraag van de energie-intensieve industrie wordt verkeerd ingeschat

Quintel miste diverse klimaatkansen binnen de industrie

De afgelopen jaren hebben wij als Quintel Intelligence vele partijen ondersteund bij het nadenken over de toekomstige energievoorziening van Nederland met behulp van onze tools⁴. Vaak was daarbij de wens van partijen om in te zetten op een groot aandeel hernieuwbare energie (bijvoorbeeld Urgenda 2030⁵) of hoge CO₂-reductie (bijvoorbeeld Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur 2050⁶). Wat die ideeën over de toekomst met elkaar gemeen hebben, is dat er een vrij scherp beeld lijkt te zijn over hoe alle sectoren de energietransitie naar een meer duurzame energiehuishouding kunnen doormaken. Beelden als de Nul-op-de-Meter Woning voor de gebouwde omgeving, de emissieloze auto in de transport sector en de energieleverende kas in de landbouw, zijn met de technieken van vandaag al voorstelbaar en realiseerbaar. Bovendien zijn het beelden die hun plaats beginnen in te nemen in onze collectieve verwachting van de toekomst.

Maar voor de sector met de grootste energievraag in onze Nederlandse samenleving, de (zware) industrie⁷, zijn er nog geen inhoudelijke toekomstbeelden met voorbeeld-technologieën of processen waar naar gestreefd wordt. De verschillende energie-intensieve industrieën⁸ lijken in hun routekaarten allemaal grofweg het volgende te zeggen: de industrie wordt innovatiever, natuurlijk efficiënter en de vraag naar hoge temperatuur warmte wordt ingevuld met biomassa.

Daarom wordt de industrie in toekomstscenario's op de volgende manier gemodelleerd: de industrie groeit ieder jaar met de ingeschatte groei van de wereldeconomie en innovatie en efficiency worden vertaald naar een steeds iets efficiënter energiegebruik. Verder wordt daar waar bekend nieuwe procestechologie toegepast in de scenario's. Energetisch komen deze scenario's dan neer op het volgende: de energetische groei van 1 à 2% per jaar wordt weggestreept tegen een 1 à 2% hogere efficiency ieder jaar. Dit heeft als gevolg dat het industriecomplex van nu in de toekomst nog steeds ongeveer dezelfde jaarlijkse energievraag heeft, alleen wel met een hogere omzet.

Als de industrie niet voor een verlaging van de jaarlijkse energievraag kan zorgen, hoe wordt zij dan duurzamer gemaakt in deze scenario's? Veel van de processen in de energie-intensieve industrie vereisen hoge temperaturen. Daarom substitueren we in veel van onze scenario's het aardgas, de steenkool en de aardolie, die gebruikt worden voor die hoge temperatuur-processen, met biomassa (voornamelijk hout en groen gas). Dit draagt enerzijds bij aan de duurzaamheid van de industrie (want biomassa is een verzameling

⁴ Zie het Energie Transitie Model (ETM), www.energytransitionmodel.com

⁵ Urgenda (2013): Nederland 100% Duurzame Energie in 2030.

⁶ QI (2015): Beelden van een CO₂-arme Nederlandse Samenleving in 2050.

⁷ Ongeveer 50% van de primaire energievraag in 2013, zie ETM.

⁸ Zie voor een overzicht van routekaarten bijvoorbeeld RVO (2011): En route! In 2030 een duurzame en concurrerende industrie., alsook op de sites van de daarin genoemde branche organisaties.

hernieuwbare energiedragers) en verlaagt tevens de CO₂-uitstoot (omdat conform de UNFCCC rapportagestandaard doorgaans geen CO₂-uitstoot aan biomassa toegekend wordt, aangezien biomassa (over de hele levenscyclus) zoveel CO₂ opneemt dat dit de bij verbranding vrijkomende CO₂ compenseert).

Als gevolg van deze ‘oplossing’ is de hoeveelheid biomassa die in deze scenario’s wordt opgestookt fors. In Quintels Urgenda 2030 scenario⁹ gaat het om 610 PJ primaire energie voornamelijk hout en groengas. In Quintels RLI scenario met 95% CO₂-reductie in 2050¹⁰ gaat het om 690 PJ primaire energie. Vertaald naar grondoppervlakte zou dit betekenen dat voor de energievraag van de energie-intensieve industrie, bij huidige teeltopbrengsten in Nederland, ergens in de wereld een gebied ter grootte van ongeveer 3.3 x het huidige Nederlandse landbouwareaal permanent zou moeten worden “gehuurd”.

In bovenstaande getallen is daarnaast nog **niet** meegenomen dat de energie-intensieve industrie vaak ook een ambitie heeft om biomassa in te zetten als grondstof in het kader van de biobased economy. Indien we ook de aardolie en het aardgas als grondstof zouden vervangen voor de in Nederland aanwezige energie-intensieve industrie, dan komt daar nog eens een vraag van ruim 800 PJ aan biomassa bij. Afhankelijk van de teelt die daarvoor wordt ingezet is dan nog eens een gebied nodig van 3 tot 9 x het huidige Nederlandse landbouwareaal.

Deze toekomstvisie rammelt aan twee kanten. Ten eerste vraagt deze visie om onrealistisch veel land dat niet meer ingezet kan worden voor natuur, voedsel of bebouwing. Als de buitenlandse zware industrie vergelijkbare plannen heeft, is de aarde te klein om deze landbouwgronden te bieden. Maar zelfs als een heel groot deel van de aarde ingezet zou worden voor biomassateelt ten behoeve van de industrie, dan is de biomassavraag alsnog te hoog om *op hernieuwbare wijze* deze biomassa te leveren. Bij een dergelijk hoge vraag naar biomassa zou er veel meer hout opgestookt worden dan dat er jaarlijks bijgroeit. Het is evident dat dat een situatie is die verre van duurzaam is en niet lang kan voortduren.

Ten tweede lijkt het zeer onwaarschijnlijk dat de industrie de komende tientallen jaren ieder jaar een beetje groeit en ook steeds iets efficiënter wordt. De industrie is een zeer grote en heterogene sector. Sommige industrieën zullen na deze periode gekrompen zijn, andere zijn verdwenen, gegroeid, of juist ontstaan. Binnen deze industrieën zullen waarschijnlijk ook veel veranderingen plaatsvinden. Een “business-as-usual” visie waarbij de industrie in haar geheel blijft groeien en efficiënter wordt, is een te simpele en naïeve manier om de toekomst te benaderen.

Wij hebben dus op een te eenvoudige manier over de toekomst van de industrie en de bijbehorende energievraag nagedacht. Deze manier van denken gaat uit van Nederland en de huidige situatie, niet van de wereld en mogelijke structurele ontwikkelingen. Wat extra precair is, is dat deze fout begaan wordt in de sector die 50% van het Nederlandse energiegebruik voor haar rekening neemt. Om een goede discussie over energiesystemen te voeren, is het dus uitermate belangrijk om recht te doen aan deze sector. Wanneer deze sector namelijk met een weider perspectief bestudeerd wordt, blijkt dat tal van kansen voor het klimaat zich voortdoen ten gevolge van *exogene* ontwikkelingen. Dit rapport zal een aantal van deze ontwikkelingen en de daaruit voortvloeiende klimaatkansen behandelen.

⁹ Zie het ETM scenario <https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/155680>

¹⁰ Zie het ETM scenario <https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/423882>

Ook andere externe partijen misten deze klimaatkansen

Quintel stond overigens niet alleen in deze onrealistische kijk op de industrie. Het idee in andere studies was veelal ook dat de industrie niet structureel verandert en alleen geleidelijk slimmer en efficiënter wordt. Hieronder volgen een paar voorbeelden.

De Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur gaat in haar advies aan minister Kamp in 2015 uit van een industrie die slechts beperkt verandert. Er staat in haar rapport Rijk zonder CO₂¹¹ op pagina 36: "De behoefte aan deze [producten gemaakt door de industrie] blijft in de toekomst bestaan en dus is er in 2050 nog steeds energie nodig om ze te maken". Op pagina 37 is te lezen: "Energiebesparing en technologische innovatie voor minder op hoge temperatuurwarmte gebaseerde productieprocessen zijn de 'transitie-sleutels' voor de energie-intensieve industrie".

Het Greenpeace Energy Revolution rapport voor Nederland uit 2013¹² ging ook uit van deze aannames. Ze projecteren een min of meer stabiele energievraag van de Nederlandse industrie. In het Referentiescenario daalt de finale energievraag in de industrie in Nederland van 549 PJ in 2010 naar 541 PJ in 2050. In het Energy Revolution scenario neemt dit af van 549 PJ in 2010 naar 431 PJ in 2050, voornamelijk door efficiëntieverbetering. Over structurele verandering van de industrie wordt niet gesproken, alleen over nieuwe technologieën om de bestaande industrie efficiënter te maken.

De Nationale Energieverkenning (NEV) 2015¹³ van o.a. ECN, PBL, RVO en EZ schetst ook een beeld van een geleidelijke groei en efficiëntieverbetering van de industrie. Structurele veranderingen worden niet voorzien. In het *tekstkader* staat een kleine bloemlezing uit de NEV 2015.

-
- *Uitgaande van een veronderstelde groei neemt het energieverbruik door de industrie na 2020 toe.*
 - *Net als in de NEV 2014 wordt verwacht dat het groeiend verbruik van aardolieproducten voor niet-energiedoelinden in de chemische industrie de daling van het verbruik in het verkeer compenseert. Doordat het aardgasverbruik de komende jaren daalt, wordt aardolie de meest gebruikte grondstof in de industrie en de energiesector.*
 - *Op langere termijn kan, mede door nieuwe technieken, de staalproductie verder toenemen.*
 - *De Nederlandse chemie groeit weliswaar licht op de langere termijn, maar blijft daarbij wel achter bij de groei van de wereldmarkt.*
 - *Het totale non-energetisch verbruik van brandstoffen voor toepassing als grondstof groeit door geleidelijke productiviteitsverbetering in de bestaande capaciteit door van circa 580 petajoule in 2013 naar ruim 600 petajoule in 2020 en iets meer dan 640 petajoule in 2030.*

¹¹ RLI (2015): Rijk zonder CO₂: naar een duurzame energievoorziening in 2050.

¹² Greenpeace (2013): Energy [r]evolution scenario. A Sustainable Netherlands Energy Outlook.

¹³ ECN (2015): Nationale Energie Verkenning 2015.

- *De verdeling van energiegebruik over de bedrijfstakken verandert in de komende decennia niet wezenlijk ten opzichte van de verdeling in 2014. De chemische industrie blijft qua energiegebruik de grootste sector, gevolgd door de basismetalaalindustrie.*
 - *Als onderdeel van de convenanten zijn Routekaarten 2030 opgesteld waarin toekomstpaden zijn geschetst om verdergaande energie- besparing te gaan realiseren.*
-

Ook in de “2035 visie” van Natuur en Milieu met commentaar van Ecofys van juni 2016 is de industrie een abstractie die voornamelijk moet besparen: “in de industrie en landbouw blijkt besparing en verduurzaming echter een moeizaam proces en zal industriebeleid gericht moeten zijn op verdere besparing”¹⁴.

In het rapport van juni 2016 van de VEMW¹⁵ met als titel “Samen op weg naar minder” en als subtitel “Hoe Nederlandse energie-intensieve bedrijven helpen om de CO₂-uitstoot te verlagen” gaat het tevens om de al eerder genoemde thema’s energiebesparing, procesverbetering en innovatie. Wat dit rapport benadrukt, is dat de industrie niet aan haar doelen omtrent CO₂-uitstoot kan voldoen, als de overheid niet faciliteert. Natuurlijk heeft de overheid een rol te spelen in facilitering van de transitie, maar o.i. kan de overheid beter de verderop in dit rapport besproken trends faciliteren dan de bestaande energie-intensieve industrie. Dat geeft namelijk, zoals we zullen beschrijven, veel meer resultaat en een competitiever industrie-complex voor de toekomst.

Het is dus in bovenstaande energiewebstanoario’s en -visies steeds de huidige industrie die alleen haar energie efficiënter inzet en fossiele brandstoffen in toenemende mate substitueert met biomassa. Dat er ontwikkelingen kunnen zijn die tot structurele verandering kunnen leiden, wordt in deze studies nog niet meegenomen. Zij denken dus ook op een te eenvoudige wijze over de toekomst van de industrie.

De industrie zelf zag deze klimaatkansen ook niet

Tot slot zag de industrie zelf, net als de hierboven beschreven externe partijen, deze klimaatkansen niet. Illustratief hiervoor zijn de routekaarten, die vrijwel allemaal hetzelfde lezen en bedoeld zijn om de continuïteit van de industrie te waarborgen. De samenvatting van de routekaart voor de chemie (de grootste energiegebruiker met 860 PJ op jaarbasis), die exemplarisch is voor de meeste andere routekaarten, laat goed zien hoezeer men uitgaat van de huidige situatie. De voornaamste peilers voor de toekomst zijn efficiency, biomassa inzet en CO₂-afvang en recycling. Niets duidt op een structurele aanpassing van de industrie:

¹⁴ Natuur en Milieu (2016): Energievisie 2035. Energietransitie in de hoogste versnelling.

¹⁵ VEMW (2016): Samen op weg naar minder.

De routekaart Chemie¹⁶ kent zes concrete oplossingsrichtingen:

- *Energie-efficiëntie: het tegengaan van energieverpilling in het eigen proces;*
 - *Vervanging fossiele grondstoffen: door inzet van hernieuwbare grondstoffen (biomassa) voor de productie van chemische producten;*
 - *Carbon Capture and Storage of Usage (CCS/CCU): CO₂ afvangen en vervolgens opslaan of gebruiken (recyclen);*
 - *Recycling van materiaalstromen, ofwel het sluiten van de materiaalketen: hergebruiken van producten en materialen na het gebruik;*
 - *Duurzame producten: bijdragen aan de ontwikkeling van duurzame producten voor eindgebruikers;*
 - *Duurzame energie: zelf opwekken of inkopen van duurzame energie.*
-

Ook visiedocumenten zoals het visiedocument van de VNCI, "The Chemical Industry in the Netherlands: World leading today and in 2030-2050"¹⁷ uit 2012, verwachten dat de huidige jaarlijkse groei en efficiëntieverbeteringen zullen doorzetten. Het centrale idee is geleidelijke en exponentiële groei (2.5-5% per jaar, voornamelijk gebaseerd op fossiele brandstoffen en grondstoffen). Klimaatverandering is iets waarover slechts de "awareness" groeit. Investeringsklimaat en fiscaal klimaat worden vaker genoemd en lijken belangrijker in de visie van de chemie dan een structuurverandering die zou kunnen voortkomen uit klimaatverandering en de energietransitie. Nieuwe opkomende trends of industrieën worden daarnaast over het algemeen genegeerd en soms actief vertraagd¹⁸. De industrie zelf denkt dus ook op een te simpele manier over haar eigen toekomst.

Waarom zien we deze klimaatkansen niet?

We benaderen dus (bijna) allemaal de industrie met een vrij naïeve en eenvoudige blik, industrie en externe instanties gelijk. We stellen dat de industrie de komende tientallen jaren jaarlijks licht groeit, iets efficiënter wordt en overstapt op biomassa, ook al is dit onrealistisch en verre van zeker. Waarom denken wij zo over de industrie, en waarom zien we vrijwel geen klimaatkansen?

De reden hiervoor heeft ten minste vier elementen. Ten eerste gaan we grotendeels uit van de huidige situatie, en de ontwikkeling daar naartoe vanuit het verleden. Ten tweede kijken we doorgaans niet verder dan grenzen van de industrie die we in ogenschouw nemen. Ten derde extrapoleren we doorgaans vrijuit. Ten vierde doen wij doorgaans aan eerste orde denken, in plaats van hogere orde denken.

Dit leidt ertoe dat wij vanuit een bepaalde industrie een historisch recentelijke afzetgroei en efficiëntieverbetering observeren, niet buiten de grenzen van die industrie kijken en dan

¹⁶ VNCI (2012): Routekaart Chemie 2012-2030.

¹⁷ VNCI (2012): The Chemical Industry in the Netherlands: World leading today and in 2030-2050.

¹⁸ Voorbeeld artikel waarin lobby praktijken van o.a. oliebedrijven besproken worden: The Guardian (2016): EU dropped climate policies after BP threat oil industry exodus.

deze ontwikkeling van deze industrie vrij doortrekken als ware er geen externe of hogere orde effecten die hier iets aan zouden kunnen veranderen. Ontwikkelingen als procesverbetering, biomassa substitutie en CCS zijn allemaal richtingen die door eenzelfde denken begeleid worden: dit denken gaat uit van een bestaand proces, dat structureel hetzelfde blijft, maar waarop een interne, eerste orde ontwikkeling toegepast wordt.

Voorbeelden van dit denken waren enkele jaren geleden ook te vinden in de toekomstvisies voor de andere sectoren. Hieronder volgen er een paar:

- De eerste poging om een auto minder CO₂ uit te laten stoten was door bijmenging van biobrandstof te verplichten. De auto's bleven hetzelfde; zij werden iets efficiënter en fossiele brandstoffen werden geleidelijk vervangen door biobrandstoffen. Nu heeft men echter twijfels of bijvoorbeeld rijden op biodiesel wel zo'n goed idee is¹⁹.
- Om de gebouwde omgeving klimaatvriendelijker te maken, werd het aardgas dat bestemd was voor de HR-ketel vervangen door groengas. De verwarmings-technologie bleef hetzelfde, het huis werd misschien iets beter geïsoleerd. De ketel werd efficiënter en verbruikte biobrandstof in plaats van fossiele brandstof. Het is onduidelijk waar in een dergelijk scenario al het benodigde groengas vandaag komt.
- In de energiesector wordt biomassa bijgestookt in kolencentrales om een CO₂-reductie te realiseren. Wederom blijft alles gelijk, maar wordt een biobrandstof ingezet om fossiele brandstoffen te vervangen; de technologie en infrastructuur blijven verder hetzelfde. Het bijstoken van hout is echter een zeer laagwaardige toepassing van een hoogwaardig product waarmee steeds meer mogelijk is.

Wat zijn de gevolgen van het missen van deze klimaatkansen?

Vanuit het klassieke ingenieursdenken of de wens om de huidige assets ook optimaal in de toekomst in te zetten is het begrijpelijk dat we op deze manier denken. Maar inmiddels begint duidelijk te worden dat het niet makkelijk is een inhoudelijk sterk "Rijk zonder CO₂" te creëren door middel van dit eerste orde redeneren. Laten we daarom eens nadenken over de gevolgen zijn van het type denken zoals dat hierboven uiteengezet is.

Het voornaamste gemis aan dit denken is dat het voorbijgaat aan exogene trends en hogere orde effecten. De scope van dit denken beperkt zich grotendeels tot het waarschijnlijke binnen de industrie zelf. Hierbij mist het zowel het onwaarschijnlijke binnen de industrie zelf, als het waarschijnlijke en onwaarschijnlijke daarbuiten. Deze drie gebieden kunnen echter allemaal hun impact doen gelden op de industrie.

Het is natuurlijk (vrijwel) onmogelijk om in een toekomstvisie al deze mogelijke vormen van impact mee te nemen. Maar dat neemt niet weg dat de industrie en deze scenario's een bepaald type impact, het type dat bovendien waarschijnlijk het makkelijkst te analyseren is, niet meenemen: het waarschijnlijke exogene (eerste en hogere orde).

De industrie richt zich voornamelijk op waarschijnlijke, directe, endogene ontwikkelingen, terwijl in theorie juist de waarschijnlijke, (in)directe, *exogene* ontwikkelingen een grote

¹⁹ Globiom (2016): The Basis of Biofuel Policy post-2020.

weerslag op deze industrie kunnen hebben. Dit zijn trends die zich buiten de industrie voltrekken maar die noch door de industrie, noch in de energiescenario's meegenomen worden. En deze trends, juist omdat ze gemist worden, kunnen een grote impact op de betreffende industrie hebben. Het negeren van deze trends maakt ze in veel gevallen bedreigingen, het anticiperen van deze trends maakt ze in veel gevallen klimaatkansen. Hieronder volgt een tweetal verhalen dat illustreert wat de gevolgen van deze manier van denken, het negeren van de zich aandiende exogene ontwikkeling en het inadequaate handelen naar deze ontwikkeling kunnen zijn op een industrie.

De Nederlandse Post heeft jarenlang moeite gehad om te geloven dat elektronische berichten de post grotendeels overbodig zouden maken. Vanaf 1990, en misschien al wel eerder, verschenen er studies die voorspelden dat digitalisering van berichten en het voortbestaan van fysieke "mail" inconsistent waren. Maar aangezien tussen 1990 en 2005 de "mail" volumes nog groeiden, was het moeilijk om om te gaan met deze inconsistentie in het bedrijf. Sinds 2008 dalen de "mail" volumes echter sterk met 9-12% per jaar²⁰, waardoor het mail volume is gehalveerd van 4.7 miljard stuks "mail" in 2008 naar 2.4 miljard stuks in 2015. Het einde van de krimp is nog niet in zicht. Gelukkig voor PostNL wordt de sterke daling in "mail" gecompenseerd door een sterke groei in pakketverzending o.a. als gevolg van bestellingen die het gevolg zijn van diezelfde digitalisering. Daar waar de impact van dit voorbeeld op het energiegebruik in Nederland relatief bescheiden is, is dat in het volgende voorbeeld juist heel groot.

Een vergelijkbaar verhaal zou kunnen worden gehouden over de energiesector tussen 2000 en 2010. Men zag duidelijk aankomen dat vervuilende centrales ongewenst zouden zijn in het licht van de klimaatverandering en de alternatieven die de samenleving zou willen introduceren voor deze centrales. Men kon eenvoudig voorspellen en uitrekenen dat in een markt waarin we met subsidie massaal zon- en windstroom introduceren (met nul marginale kosten) het aantal draaiuren van fossiele centrales (met marginale kosten) omlaag zou gaan tot het punt dat de meeste centrales onrendabel zouden worden. Desondanks maakte men in die periode plannen om grote fossiele centrales bij te bouwen in Nederland en Duitsland. Dit was geheel inconsistent met de trend die al gesignaleerd kon worden.

Gecombineerd met een nucleaire ramp en een daardoor versnelde ambitie vanuit de politiek in Duitsland om kerncentrales uit te faseren heeft dit grote utilities zoals RWE (Essent), Vattenfall (Nuon) en E-On in een paar jaar tijd zwaar verliesgevend gemaakt. RWE maakte in 2010 nog een netto winst 2.5 miljard euro en in 2013 een netto winst van 0.7 miljard; in 2015 was dit omgeslagen in een netto verlies van 3.2 miljard euro²¹. De bedrijven splitsen zich nu op in een "fossiel" en een "hernieuwbaar" deel. De vooruitzichten voor het fossiele deel zijn slecht. Het "hernieuwbare" deel is nog op zoek naar een business model waarin het kan overleven zonder subsidies. De impact op de energiebalans van Nederland is groot nu fossiele centrales steeds minder draaien en zon- en windstroom in volume toenemen.

De twee bovenstaande ontwikkelingen waren zowel exogeen als zeer waarschijnlijk - er waren signalen vanuit de samenleving, het onderzoek en het bedrijfsleven. De industrie, voorzover zij zich daarvan bewust was en werd, anticipeerde niet (voldoende) op deze ontwikkelingen en ondervindt nog steeds de gevolgen ervan. Door hun gebrek aan anticipatie en reactie werden deze trends *bedreigingen*, terwijl deze trends mits omarmd ook

²⁰ PostNL (2009 - 2015). Jaarverslag

²¹ RWE (2010, 2013, 2015): Financial Statement

soepele transitie hadden kunnen inleiden. De consequenties van deze ontwikkelingen (brievenpost versus digitale berichten en fossiele centrales versus wind- en zonnestroom) zijn inmiddels goed voorstelbaar. Ook hun impact op PostNL en Utilities wordt steeds beter begrepen.

Zoals eerder vermeld kan een dergelijke exogene trend ook juist kansen scheppen: kansen binnen en buiten de industrie die bijdragen aan een beter welzijn. Het is inmiddels algemeen geaccepteerd dat de aarde opwarmt (ten gevolge van de uitstoot van broeikasgassen) en dat sommige grondstoffen te schaars zijn of worden voor de mensen en de natuur. Dat heeft zich ook geuit tot de formulering van nationale en internationale politieke doelstellingen omtrent temperatuurverhogingen en CO₂-uitstoot, zoals dat gedaan is door de VN, de EU en de Nederlandse overheid. Derhalve is het belangrijk om te kijken of deze technologische trends ons nieuwe mogelijkheden geven om binnen “de grenzen van de aarde” te leven. Om een levenswijze te vinden waarmee we met 10 miljard mensen in 2050 onze aarde niet uitputten en ons klimaat geschikt houden voor diezelfde mensen, betekent dat structurele aanpassingen in onze samenleving nodig zijn. De huidige structuur van samenleven veroorzaakt, zoals we inmiddels weten, namelijk het vervuiling- en continuïteitsprobleem voor diezelfde samenleving.

Door exogene trends niet mee te nemen in onze toekomstvisies, maakt men ze vaak (veelal onbewust) tot bedreigingen. Immers, wanneer een trend zijn impact onverwacht doet gelden, heeft men weinig kans deze om te buigen in iets positiefs. In dit rapport gaan wij in op een aantal trends buiten de industrie in, die niet op de radar van de industrie of andere partijen lijken te staan, maar die binnen de industrie een grote bijdrage kunnen leveren aan de zinvolle en betere balans voor de mensheid waarnaar wij op zoek zijn. Wij zien in (de gevolgen van) deze trends klimaatkansen. Door op deze trends te anticiperen en deze te faciliteren, is het mogelijk de industrie zich beter te laten aanpassen aan de veranderde omgeving waar zij deel van uit maakt en de evolutie van de industrie te begeleiden. Hierdoor vormen zich klimaatkansen - kansen die zowel bijdragen aan de duurzaamheid als aan de competitiviteit van de sector.

In de volgende hoofdstukken willen we niet op “historische” klimaatkansen ingaan, maar op een aantal “nieuwere” klimaatkansen die een grote impact op onze energievoorziening en de industrie in Nederland gaan hebben. We gaan proberen een nieuw industrieel complex in Nederland voorstelbaar te maken. We pogen de *mogelijke* impact van een aantal exogene trends op de verschillende industrieën net zo voorstelbaar te maken als de impact van digitalisering op PostNL en de impact van zonnepanelen en windmolen op utilities.

Welke exogene trends die bestaande industrieën structureel kunnen veranderen zien wij?

Tijdens onze zoektocht naar klimaatkansen richten wij ons met name op reeds aanwezige en groeiende trends uit de samenleving, uit de politiek en uit het onderzoek. Voor elke gevonden trend voeren wij vervolgens een kleine denkoefening uit om te bepalen of deze trends een significante impact op een bepaalde industrie zouden kunnen hebben: als deze trend bij extrapolatie een impact heeft op een industrie en deze industrie niet in externe documenten deze ontwikkeling en haar mogelijke gevolgen in kaart heeft gebracht, beschouwen we dit als een mogelijk tot op heden gemiste klimaatkans.

Dit levert de voorlopig de volgende lijst op van trends:

- Elektrische en zelfrijdende auto's
- Weerstrom (uit zonnepanelen en windmolens)
- Biobased chemie
- Digitalisering (incl. groei dataopslag en -verkeer)
- Meermalige verpakkingen
- Plantaardig eiwit
- Optimale voeding

Het ontstaan van toekomstbeelden voor de industrie vanuit klimaatkansen uit exogene trends

Er kan dus noch vanuit de huidige industriescenario's van diverse gerenommeerde partijen, noch vanuit de routekaarten van de industrie zelf zicht worden verkregen op een structureel andere energievraag van de industrie. Het adagium lijkt te zijn: "de wereld verandert langzaam" en "de vraag naar producten van de industrie blijft bestaan en dus verandert de energievraag nauwelijks". Er wordt vrijwel enkel gekeken naar waarschijnlijke ontwikkelingen binnen de bestaande industrie, die grofweg samen te vatten zijn in de kernwoorden 'groei', 'business-as-usual', 'efficiency', 'innovatie' en 'biomassa'.

Uit het voorgaande is hopelijk duidelijker geworden dat het volgens een dergelijke N+1 filosofie prognostiseren van een industrie die elk jaar een klein beetje verandert, maar in wezen dezelfde structuur behoudt, inconsistent lijkt met de wens tot welzijn en zelfbehoud van de mensheid. De wens voor welzijn is inconsistent met vervuiling van het eigen leefklimaat. De wens tot zelfbehoud is strijdig met de huidige klimaatverandering die voor velen het leven moeilijk of onmogelijk maakt of gaat maken in de toekomst.

Tegelijkertijd dienen zich exogene trends aan, die niet meegenomen worden in deze toekomstbeelden, maar die deze beelden danig kunnen veranderen. Kortom, het wordt alsmat urgenter om te kijken wat de gevolgen van deze trends zijn, en wat voor kansen zij voor onze toekomst geven.

In plaats van het maken van toekomstbeelden door één stap vooruit te denken vanuit de schaakstukken van de eigen partij en enkel de huidige situatie van de tegenpartij in oenschouw te nemen, zullen we meerdere zetten vooruit moeten denken voor zowel de eigen partij als de andere partijen - niet op een normaal schaakbord, maar op een groter speelveld met meer dimensies en meer schaakstukken - , om ons beter de industrie in een klimaatneutrale energietoekomst te kunnen voorstellen.

Het is mogelijk om vanuit een aantal exogene trends veel betere toekomstbeelden voor de industrie te creëren dan tot nu toe mogelijk was. De klimaatkansen die deze trends aanbieden, kunnen leiden tot een structureel andere visie op de Nederlandse industrie, alsook een andere energievraag en een uiteindelijk veel logischer toekomstbeeld.

Het bijzondere resultaat van dit onderzoek is dat we inmiddels klimaatkansen voor bijna iedere industrie hebben gevonden.

In de volgende hoofdstukken gaan we in op de volgende klimaatkansen:

- Raffinaderijen en elektrisch vervoer
- De metallurgische industrie en zelfrijdende deelauto's
- Kunstmest uit aardgas en kunstmest uit overschotten weerstroom
- Petrobased chemie en biobased chemie
- De papierindustrie en meermalige verpakkingen
- Dierlijk eiwit en plantaardig eiwit
- De centrale mengvoeder industrie en decentrale grasraffinage
- Een "nieuwe energie-intensieve industrie": datacenters en telecommunicatie

Deze hoofdstukken beginnen met een grotendeels kwalitatieve samenvatting van de betreffende klimaatkans. De geïnteresseerde lezer kan vervolgens doorlezen over de context, trend en impact van deze klimaatkans, waarbij de zwarte tekst de rode lijn van het hoofdstuk bevat *en de blauwe, cursieve tekst de kwantitatieve onderbouwing en achtergrond*.

Klimaatkans 1: Raffinaderijen en elektrisch vervoer

In het kader van recent verschenen rapporten²² en mondiale en nationale afspraken en ambities omtrent CO₂-reductie²³ is het duidelijk dat de Nederlandse samenleving koers gaat zetten naar een duurzame en radicaal andere vervoersector. Deze transitie vraagt volgens het Energierapport om “zowel besparing als om andere voertuigen en andere energiedragers”, later gespecificeerd als elektriciteit voor personenvervoer en korte-afstandvrachtverkeer en biobrandstoffen voor zwaar transport²⁴. Eind maart 2016 heeft de Tweede Kamer een motie van de PvdA aangenomen waarin staat dat het kabinet “ernaar [moet] streven” dat in 2025 enkel emissieloze auto’s verkocht worden²⁵. Dit alles betekent dat de vraag naar energiedragers flink gaat veranderen. Daarmee zal het aanbod ook mee moeten gaan, ten eerste om leveringszekerheid te kunnen bieden en ten tweede om te voorkomen dat geproduceerde en geleverde energiedragers niet meer afgezet (kunnen) worden. De Nederlandse raffinaderijen die nu onder andere benzine en diesel voor het wegverkeer leveren, verwachten dit de komende tientallen jaren nog te kunnen doen en investeren nog in de uitbreiding van hun raffinagecapaciteit. Raffinaderijen kunnen echter geen druppel benzine slijten aan een elektrische auto. Indien het West-Europese wegverkeer volledig elektrificeert, verdwijnt 46% van de afzet van de Nederlandse raffinaderijen. Verduurzaamt de scheepvaart ook, dan verdwijnt in totaal 55% tot 70% van de afzet.



Context

De aardolie-industrie denkt dat we tot 2040 voornamelijk op aardolie zullen rijden en dat raffinaderijen nog groeien

De aardolie-industrie in Nederland maakt moeilijke tijden door. De omzet in euro’s van de aardolie-industrie (99% van raffinaderijen) is sinds begin 2012 meer dan gehalveerd en het was de enige industriesector met een negatief bedrijfsresultaat in 2013 en 2014²⁶. Een deel van de verklaring hiervoor ligt in de slechte concurrentiepositie van de Europese en ook Nederlandse aardolie industrie. Met name qua productiekosten heeft Nederland zware concurrentie van de VS (lage gasprijzen door schaliegas en de daarbij vrijkomende grondstof ethaan) en het Midden-Oosten²⁷. In Europa zijn in de laatste zeven jaar tijd 15 van de 90 raffinaderijen verdwenen²⁸. Tegelijkertijd worden in Rusland, het Midden-Oosten en de Verenigde Staten diverse raffinaderijen gebouwd, op de oliebron.

²² O.a. RLI (2015): Rijk zonder CO₂: naar een duurzame energievoorziening in 2050 en EZ (2016): Energierapport - Transitie naar duurzaam

²³ United Nations Climate Change Conference / COP21 (nov. 2015)

²⁴ Ministerie van Economische zaken (2016): Energierapport - Transitie naar duurzaam. p.90.

²⁵ NRC (2016): Omstreden motie over elektrische auto’s aangenomen. (Kamerstuk 30 196, nr. 449).

²⁶ CBS (2016): Bedrijfsresultaat aardolie-industrie in de min.

²⁷ Rabobank (2014): Een voorwaardelijke toekomst. De chemie in Nederland. p.14-16.

²⁸ Financieel dagblad (2016): In 2040 is dit nog steeds een winstgevende raffinaderij.

Het bovenstaande maakt de vraag hoe de huidige Nederlandse raffinage-industrie zelf de elektrificatie van het wegverkeer anticipeert en haar eigen toekomst ziet des te interessanter. In het algemeen (zie *tekstbox*) verwacht de industrie voor de komende tientallen jaren lichte groei of (uiteindelijk) stagnatie van de afzet van hun aardolieproducten. Exxonmobil zet die visie kracht bij door in 2016 1 miljard dollar te investeren in de bouw van een nieuwe Rotterdamse hydrokraker, die hoogzwavelige oliefracties gaat omzetten naar laagzwavelige brandstoffen als benzine, diesel en kerosine²⁹.

Exxonmobil verwacht voor 2040 voor elke regio een toename van het aantal auto's en dat wereldwijd 25% van de auto's elektrisch, hybride of op waterstof rijdt en in de OECD32 de vraag naar brandstof door efficiëntieverbeteringen afneemt³⁰. BP verwacht voor 2035 dat 1% van de wereldwijde transportvraag voor elektriciteit is en dat de wagenvloot overal zal toenemen, waardoor ook de capaciteit van raffinaderijen zal moeten toenemen³¹. Uit deze toekomstvisies van de grote oliemaatschappijen blijkt duidelijk dat zij geen massale transitie naar elektrisch vervoer voorzien en soms zelfs menen hun raffinagecapaciteit te moeten opschalen. De raffinaderijen menen dus dat elektrificatie van het verkeer niet zo ver en zo snel doorzet dat zij een andere stap dan 'business-as-usual' moeten nemen.

De visie van aardoliemaatschappijen als Shell, BP en Exxonmobil staat haaks op de politieke mobiliteits ambitie van de Nederlandse overheid

Dit perspectief en deze stap van de raffinaderijen is echter tegenstrijdig met de plannen, ambities en mobiliteits afspraken van de Nederlandse overheid - het kan niet zo zijn dat in Nederland slechts een fractie van het wagenpark zero-emission voertuigen zijn zoals de industrie dat verwacht, als er in Nederland vanaf 2025 of, zoals in het Energieakkoord afgesproken, in 2035 geen brandstof auto's meer verkocht mogen worden en veel Europese landen vergelijkbare doelstellingen proberen te verwezenlijken.

Bij de helft van de afzet van raffinaderijen betreft op massabasis brandstoffen voor het wegverkeer

Deze inconsistentie leidt tot het vraagstuk wat er met de raffinage-industrie achter de transport sector gebeurt, als dergelijke voorgenomen en andere plausibele veranderingen doorzetten. In deze sectie vindt een verkenning plaats van deze effecten op de bestaande industrie. Daartoe wordt allereerst in kaart gebracht wat de huidige stand van zaken in de raffinage-industrie is.

²⁹ Financieel dagblad (2016): In 2040 is dit nog steeds een winstgevende raffinaderij.

³⁰ ExxonMobil (2016): The Outlook for Energy: A View to 2040. p.19-25.

³¹ BP (2016): BP Energy Outlook 2016 edition. Outlook to 2035. p.22-26

In 2015 werd in Nederland bijna 80 miljoen ton aardolieproducten geproduceerd, waarvan ruim 75 miljoen ton naar de raffinaderijen en groothandel³² (60 miljoen kg en 15 miljoen kg, respectievelijk) ging³³. Van die aldaar geproduceerde 75 miljoen ton aardolieproducten was 2 miljoen ton LPG, 15 miljoen ton benzine en bijna 25 miljoen ton diesel, waarvan 17.5 miljoen ton autodiesel. Dit betekent dat op gewichtsbasis 46% van de verwerkte aardolieproducten uit de raffinaderijen brandstoffen voor het wegverkeer betroffen. Daarbij dient een kanttekening geplaatst te worden, want deze schets is ietwat vertekend door over gewicht te spreken: benzine en diesel zijn relatief kleine en daardoor lichtere fracties die worden verkregen uit het raffinageproces, terwijl andere, grotere fracties als stookolie significant zwaarder zijn. De energie-inhoud per massa eenheid van diesel en benzine liggen hoger dan die van stookolie, terwijl het omgekeerde geldt voor de energie-inhoud per volume eenheid. Hieruit volgt dat het energetisch aandeel van deze wegverkeer brandstoffen waarschijnlijk groter is dan 46%. Het totale massa-aandeel van brandstoffen voor transportdoeleinden in verwerkte aardolieproducten in raffinaderijen is ongeveer 82%, met 8 miljoen ton kerosine en ruim 12 miljoen ton stookolie. Bijna de helft van de in raffinaderijen omgezette aardolieproducten zijn dus motorbrandstoffen voor het wegverkeer.

Aardolieproducten (Mton)	Totaal	Totaal selectie	Benzine	Diesel	LPG	Kerosine	Stookolie
Raffinage & handel	75.8	61.6	14.9	24.4	1.8	8.2	12.3
Finaal verbruik in NL	23.2	11.0	3.9	6.7	0.3	0.1	0.0

Tabel 1: CBS aardolieproductenbalans³⁴, in miljoen ton, afgerond op decimalen. De rij 'Raffinage en handel' geeft de totale raffinage productie en bewerking weer en de rij 'Finaal verbruik in NL' het finale verbruik van de betreffende aardolieproducten in Nederland. N.B.: de kolom 'Totaal selectie' betreft de som van de geselecteerde aardolieproducten, de kolom 'Totaal' de som van alle aardolieproducten.

46% van het totale Nederlandse raffinageproduct op massabasis betreft brandstoffen bestemd voor het wegverkeer (zie [textbox](#)). Een groot deel van de motorbrandstoffen die in Nederland wordt geproduceerd, wordt weer geëxporteerd. Van de 46% (34.5 miljoen ton) aan geraffineerde aardolieproducten voor het wegverkeer, wordt 31% (10.9 miljoen ton) in Nederland verbruikt. Zo komt het aandeel van in Nederland verbruikte aardolieproducten voor het wegverkeer op de totale hoeveelheid geraffineerde aardolieproducten neer op 31% * 46% = 14%.

³² Noot: de groothandel bestaat uit bedrijven die aardolieproducten opslaan of verhandelen, en die vaak deze producten mengen, vlak voordat ze aan de markt worden geleverd. Eerder werd deze voorraad toegerekend aan de raffinaderijen.

³³ CBS (2016): aardolieproductenbalans; aanbod, verbruik en voorraad

³⁴ CBS (2016): aardolieproductenbalans; aanbod, verbruik en voorraad

Van het deel dat naar het buitenland gaat, ging in 2012 33% naar Duitsland, 18% naar België en Luxemburg, 3% naar Frankrijk en 3% naar de rest van Europa - het overige deel gaat naar Zuid Amerika en Azië³⁵. Het gaat hier dus om fracties (op gewichtsbasis) van de totale aardolieproducten export, niet slechts die van brandstoffen.

Laten we nu terugkeren naar de raffinaderijen en ons verdiepen in hun werking. Raffinagetorens zijn feitelijk gigantische destillatiekolommen. Destillatie is een techniek waarbij een stof of mengsel gefractioneerd wordt in meerdere kleine componenten met andere chemische en fysische eigenschappen. Ruwe aardolie wordt in een raffinaderij gescheiden in verschillende fracties, waarbij naar mate de temperatuur hoger is, de ketenlengte van de fracties groter is. In een destillatiekolom of -toren ontstaan top down lichte gassen, nafta, kerosine, diesel olie, gasolie en residuen³⁶. De meeste producten worden vervolgens omgezet en gekraakt naar stoffen en mengsels die wij veel gebruiken: zo worden nafta en lichte gasolie omgezet naar benzine (een mengsel van diverse destillaten) en kunnen zwaardere fracties gekraakt worden tot lichtere fracties. Als we de destillatiekolom weergeven als top down serie van huidige eindproducten voor vervoer, dan luidt deze: gas, (grondstoffen petrochemie), benzine, kerosine, diesel en stookolie. Een raffinaderij is in theorie redelijk flexibel, want het temperatuurbereik waarbij hij operationeel is, bepaalt ook deels de verhouding tussen de raffinageproducten. Bovendien kunnen de geproduceerde fracties omgezet worden in andere fracties en stoffen.

Trend

Elektrische auto's worden steeds beter; het aantal voertuigen dat emissieloos kan rijden groeit in Nederland en Europa

Laten we, na een inschatting gemaakt te hebben van de huidige situatie omtrent de raffinagesector, ons blikveld verschuiven naar de elektrische auto's zelf: de huidige technologie, kosten, ontvangst en infrastructuur.

Een onderzoek van TNO uit begin 2015 dat gebaseerd is op praktijkresultaten toont aan dat voor middenklasse voertuigen elektrisch rijden niet alleen tot minder CO₂-emissies leidt, maar ook op basis van de total cost of ownership (TCO) al goedkoper kan zijn, ongeacht of de stroommix grijs of groen is³⁷. De particuliere energiekosten variëren van 3.6-7 eurocent / km voor elektrisch rijden en van 8-12 eurocent / km wanneer er op benzine gereden wordt. Door verdere ontwikkelingen zullen binnen 10-15 jaar het volume en gewicht van de accu afnemen, maar de energie-inhoud en daarmee actieradius met een factor groter dan twee toenemen. Ook zal de aanschafprijs van elektrische auto's afnemen met tientallen procenten, zodat de TCO voor elektrische auto's t.o.v. brandstofauto's binnen hun klasse vrijwel altijd het beste zal zijn.

³⁵ ECN & Wood Mackenzie (2015): Emissies van raffinaderijen, vanuit concurrentieperspectief. p. 34

³⁶ ECN (2011): Een analyse van de bunkerolieketen. p. 25.

³⁷ TNO (2015): Energie- en milieu-aspecten van elektrische personenvoertuigen. p.8

Ook al is elektrisch rijden energetisch en financieel interessanter, is de ervaring van de gebruiker een belangrijk element dat bepalend kan zijn voor het succes van een transitie. Consumenten geven aan de impact en het imago van elektrisch rijden, de ervaring van het opladen en het comfort als positief te ervaren; drempels zijn de soms beperkte actieradius en de inkoopprijs die vrij hoog is in verhouding tot de total cost of ownership³⁸. De nieuwste modellen komen echter steeds meer aan de laatste twee verwachtingen tegemoet: de Renault ZOE is een volledig elektrische auto met een bereik van 240 km, beschikbaar vanaf 21,000 euro (incl.)³⁹ en de Nissan Leaf rijdt 250 km op een volle batterij en wordt verkocht voor 25,000 euro (incl.)⁴⁰. In een iets hoger segment komt er de Tesla 3 die al verkocht wordt voor 35,000 dollar (incl.) en een radius heeft van meer dan 350 km⁴¹. Verder wordt er ten minste tot en met 2017 geen BPM geheven en zijn er op diverse plekken lokale subsidies beschikbaar⁴².

Hiermee lijkt de consument in theorie gereed en bereidwillig om de overstap naar een elektrische auto te maken; in de praktijk gebeurt dit ook. Het aantal geregistreerde elektrische voertuigen in Nederland neemt flink toe. Van eind december 2014 tot eind december 2015 is het aantal volledig elektrische auto's toegenomen van 6.8 duizend naar 9.4 duizend en het aantal hybride elektrische auto's van 36.9 duizend naar 78.2 duizend⁴³. Dat zijn toenames van respectievelijk 40% en 110%. Nederland heeft ook al duidelijke ambities te kennen gegeven over het minimale aantal elektrische auto's: 200 duizend in 2020 en 1 miljoen in 2025⁴⁴. Bovendien is Nederland lang niet de enige in Europa: Duitsland noteert 1 miljoen als streefgetal in 2020, Denemarken 0.5 miljoen in 2020, Frankrijk 2 miljoen in 2020 (streefgetallen die verzameld zijn in 2011).

Als er meer elektrische auto's komen, moet er uiteraard ook een infrastructuur gereed zijn om mobiliteit en flexibiliteit te kunnen garanderen. Er wordt daarom overal gewerkt aan de uitrol van de laadinfrastructuur om deze transitie te ondersteunen en versnellen: in Nederland wordt er middels een Green Deal gewerkt aan een forse uitbreiding van de laadinfrastructuur met 8000 openbare (snel)laadpunten⁴⁵. Tot slot hebben diverse landen reeds de doelstelling geformuleerd brandstofauto's te willen uitfasen per een concreet jaar, zoals 2020 in het Verenigd Koninkrijk⁴⁶ en 2025 in Nederland. Ook Noorwegen lijkt op 2025 te koersen voor een verbod van verkoop van nieuwe auto's op benzine en diesel. Dit zal hoogstwaarschijnlijk leiden tot enerzijds additionele incentives die een elektrische auto aantrekkelijker maken, en anderzijds maatregelen die het (blijven) rijden op fossiele brandstoffen onaantrekkelijker maken.

³⁸ Dutch INCERT (TUE en EUR) (2015): Analysis of (inter)national electric vehicle projects. Key factors underlying success and failure. p.7-8

³⁹ Renault Nederland (2016): Renault ZOE. Prijzen en Specificaties.

⁴⁰ NISSAN NL (2016): LEAF. De 100% Elektrische Gezinsauto.

⁴¹ Tesla NL (2016): Model 3.

⁴² RVO (2016): Financiële ondersteuning elektrisch rijden.

⁴³ RVO (2016): Cijfers elektrisch vervoer.

⁴⁴ RVO (2011): Elektrisch rijden in de versnelling. p.20-21.

⁴⁵ NKL (2015): Green Deal voor Laadinfrastructuur Elektrisch Vervoer.

⁴⁶ RVO (2011): Elektrisch rijden in de versnelling. p.20-21.

Het is mogelijk dat een deel van de elektrische auto's niet rechtstreeks (via batterijen) op duurzame elektriciteit gaat rijden, maar indirect via de waterstof route. Het maakt voor de impact op de raffinaderijen niet uit welke variant gebruikt wordt, want in beide gevallen is de energiebron niet aardolie. Verder is het mogelijk dat kleine vrachtwagens in binnensteden ook elektrisch worden aangedreven en grote vrachtwagens op waterstof en/of biobrandstoffen rijden. Aan het elektrificeren van het zwaardere transport wordt dan ook hard gewerkt: Tesla heeft het voornemen om in 2017 een elektrische truck alsook een "high passenger-density urban transport" voertuig te onthullen⁴⁷.

Impact

De raffinaderijen zullen misschien niet verdwijnen, maar wel met maximaal 45% tot 70% in volume krimpen

Indien Europese landen die Nederlandse aardolieproducten importeren ook richting elektrisch vervoer gaan, wat op basis van Europese en nationale afspraken het plan is, zal de vraag naar fossiele brandstoffen ook daar afnemen. Dat betekent dat voor het overgrote deel van de 46% tot transportbrandstof voor het wegverkeer verwerkte brandstoffen de vraag zal afnemen en uiteindelijk (door volledige elektrificatie) vrijwel helemaal kan wegvallen.

Wat zou een raffinaderij kunnen doen als de vraag naar benzine en diesel (grotendeels) wegvalt? Dat is een vraag die niet makkelijk te beantwoorden is, en geen duidelijk en eenzijdig antwoord heeft. Op basis van het voorgaande zijn wel enkele conclusies te trekken. Wat deze situatie lastig maakt, is dat de fracties voor benzine en diesel zich in het midden van de temperatuur range van de destillatietoren bevinden. Het is niet mogelijk binnen de toren de temperaturen waarbij deze fracties gevormd worden simpelweg 'over te slaan'. Deze fracties zullen zeker nog gevormd worden op de plekken waar de destillatiekolom de juiste temperatuur heeft. Aan de hand van drie verschillende scenario's wordt de mogelijke toekomst van de Nederlandse raffinaderijen die niet langer brandstoffen voor het wegverkeer afzetten kunnen, verkend. Scenario 1 kijkt naar de gevolgen van het wegvallen van de brandstoffen voor het wegverkeer, ceteris paribus (overige omstandigheden gelijk blijvend). Hierbij zal de productie flink naar beneden geschaald worden en zullen de diesel- en benzinefracties omgezet worden naar andere producten, waarbij het sterk de vraag is of deze producten überhaupt, of tegen een concurrerende prijs, afgezet kunnen worden.

⁴⁷ Musk, E. (2016): Master Plan, Part Deux

Scenario 1.

Laten we voor deze eerste exercitie aannemen dat er nog wel een vraag naar stookolie (voor de scheepvaart) overblijft, waardoor de raffinaderij nog steeds blijft opereren op dezelfde temperatuur range. De fracties die nu worden omgezet in benzine en diesel zullen nog geproduceerd worden, maar er zal echter (vrijwel) geen vraag meer voor zijn. Deze fracties zullen dan omgezet moeten worden tot andere eindproducten. Wellicht kunnen processen geïmplementeerd worden die deze fracties omzetten naar andere producten waar nog wel vraag naar is, zoals basischemicaliën, kerosine, stookolie en petroleum cokes. De vraag is echter of hier een soortgelijke prijs voor gevraagd kan worden. Als wij ervan uitgaan dat dit mogelijk is en gedaan wordt, dan zullen de Nederlandse raffinaderijen hun producten waarschijnlijk nog wel kunnen afzetten. Aangezien brandstoffen voor het wegverkeer 46% van het raffinageproduct uitmaken, zal de productie echter flink naar beneden geschroefd moeten worden. Ook is het onwaarschijnlijk dat de vraag naar kerosine, stookolie en diesel voor de scheepvaart sterk zal toenemen. Om de verlaging van productiecapaciteit enigszins te beperken zouden de raffinaderijen zich meer op het (verre) buitenland kunnen richten.

De introductie van de elektrische auto geeft ruimte voor een schonere (zee)scheepvaart

In het eerste scenario namen we aan dat de voor stookolie benodigde fracties de zwaarste gewenste fracties waren. Het is echter zeer waarschijnlijk dat de vraag naar stookolie ook sterk zal verminderen. Met de opkomst van meer en meer emission control areas (ECAs) in de zeeën en oceanen, is het op steeds meer plekken⁴⁸ niet toegestaan op zwavelrijke brandstoffen als stookolie te varen. De zeevaart zal daarom, totdat volledig emissieloze alternatieven voorhanden zijn, in eerste instantie op alternatieve fossiele brandstoffen zoals laagzwavelig diesel en vloeibaar aardgas (LNG) gaan varen.

Voor de volgende twee scenario's nemen we aan dat de vraag naar stookolie ook sterk zal dalen en dat de scheepvaart gaat varen op diesel of vloeibaar aardgas. Stookolie was eerst de langste en zwaarste keten die uit de raffinagetoren kwam; indien diesel stookolie vervangt als brandstof, is diesel de langste en zwaarste keten. Indien LNG stookolie en diesel vervangt, is kerosine de langste en zwaarte keten. Dit laatste lijkt technisch gezien gunstiger, omdat de kerosineketen kleiner is dan de dieselketen. Dit betekent dat lagere temperaturen nodig zijn en dat er minder 'ongewenste' tussenproducten zijn. De fracties die nu omgezet worden en samen benzine vormen, zullen in de toekomst via andere processen omgezet moeten worden tot nuttige producten. Dit heeft ook tot voordeel dat de diverse intensieve processen die nu de zwaarste, zeer visceuze fracties en residuen omzetten naar o.a. brandstoffen door ze te kraken, niet meer hoeven te bestaan. De impact op de raffinaderijen is dus afhankelijk van welke brandstofmix de huidige brandstofmix van de zee gaat vervangen.

⁴⁸ Momenteel o.a. Westkust en Oostkust VS en Canada, de Baltische zee en de Noordzee, zie Green4Sea (2016): Swedish Club: Facing the challenges of fuel switchover.

Door twee extremen te bekijken, kunnen we in kaart brengen tussen welke uitersten de uiteindelijke impact komt te liggen. We gaan er hierbij van uit dat er wereldwijd enkel twee mogelijke brandstoffen in de scheepvaart kunnen zijn, namelijk laagzwavelig diesel en LNG. Het is echter uiteraard niet ondenkbaar dat wij uiteindelijk op hernieuwbare energie zullen varen. In scenario 2 varen alle schepen op laagzwavelig (auto)diesel, in scenario 3 op vloeibaar aardgas (LNG) (zie [textbox](#)).

Scenario 2.

Stel dat alle stookolie en zware diesel vervangen worden door laagzwavelig (auto)diesel. In 2015 werd in Nederland 17.5 Mton autodiesel, 6.9 Mton diesel (gasolie) en 12.3 Mton stookolie geproduceerd. Van die diesel gaat een verwaarloosbaar deel naar dieseltreinen en ongeveer 0.4 Mton naar de landbouw⁴⁹, zodat we 6.5 Mton diesel voor de scheepvaart (voor binnen- en buitenland) noteren. 12.3 Mton stookolie komt overeen met 11.5 Mton diesel⁵⁰. Als we dan autodiesel gaan inzetten voor de scheepvaart en aannemen dat autodiesel en diesel voor scheepvaart dezelfde energie-inhoud hebben, dan vangen we een verlies aan 17.5 Mton diesel voor wegverkeer op met een toename van 11.5 Mton voor de scheepvaart - netto een verlies van 6.0 Mton. Daarmee vervalt nog eens $6.0 / 75.8 = 8\%$ van het raffinageproduct. Dit zou betekenen dat in totaal niet 46 % (scenario 1), maar 54% van de raffinageproductie van Nederland in 2015 in de toekomst verloren gaat. Hierbij zijn eventuele efficiëntieverbeteringen niet meegenomen.

Scenario 3.

Als alle scheepsbrandstoffen vervangen worden door LNG, ziet de toekomst er behoorlijk anders uit. LNG is vloeibaar gemaakt aardgas dat qua emissies (onder de voorwaarde dat er geen methaan lekt) schoner is dan diesel⁵¹. Omdat LNG geen onderdeel uitmaakt van de aardolieketen, zou dat inhouden dat een volledige overstap naar LNG leidt tot het wegvallen van zowel de aardolieproducten voor wegverkeer als voor de scheepvaart. Dat komt overeen met het verdwijnen van respectievelijk 46% aan wegverkeer en $(11.5 + 6.5) / 75.8 = 24\%$ aan scheepvaart, in totaal 70%, van de totale hoeveelheid aardolieproducten. De raffinaderijen zouden uiteindelijk, als verder netto niets verandert, slinken tot 30% van hun grootte in 2015.

⁴⁹ Slechts 0.027 Mton voor dieseltreinen in Nederland in 2015 en 0.35 Mton diesel voor tractoren, zie: CBS (2016): Motorbrandstoffen voor vervoer.

⁵⁰ $12.3 \text{ [Mton] stookolie} * 40.5 \text{ [PJ/Mton] energieinhoud stookolie} / 43.1 \text{ [PJ/Mton] energieinhoud diesel}$ Zie voor energieinhouden JRC (2011): Well-to-wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in European Context. WTT Appendix.

⁵¹ TNO (2011): Environmental and Economic aspects of using LNG as a fuel for shipping in The Netherlands. p.4.

In de praktijk zal de scheepvaart echter waarschijnlijk gaan varen op een mix van deze brandstoffen. Dat heeft dan tot gevolg dat de raffinage sector, afhankelijk van de exacte invulling van deze mix, krimpt met 55% (scheepvaart volledig op laagzwavelig diesel) tot 70% (scheepvaart volledig op vloeibaar aardgas (LNG)). Scenario 2 is een rooskleuriger beeld voor de raffinaderijen dan scenario 1, aangezien het een nieuwe afzetmarkt voor de dieselproductie oplevert. Op deze manier zou de massale introductie van de elektrische auto bijdragen aan de transitie in de scheepvaart.

Discussie

Op basis van het voorgaande en het energiegebruik van de raffinaderijen is het nu mogelijk een inschatting te maken van de impact van deze inconsistentie. In Nederland staan relatief veel en grote raffinaderijen (o.a. van BP, Shell, Exxonmobil, Q8KPE) in vergelijking met andere Europese landen. In 2013 verbruikten zij 156 PJ primaire energie voor eigen gebruik⁵². Indien tussen de 45% en 70% van de vraag zou wegvallen als gevolg van opkomst van elektrische en waterstof (vracht)auto's en een scheepvaart op diesel en LNG, dan zou er nog een energievraag van 46-85 PJ resteren. Dit is echter onder de incorrecte aanname dat de energievraag van het eigen gebruik per Mton geproduceerd product gelijk is, ongeacht dit product. In de praktijk gaan er achter sommige brandstoffen meer energie-intensieve processen schuil dan andere. De energetische CO₂-besparing die samengaat met dit eigen gebruik van de raffinaderijen bedraagt 5.3 Mton tot 8.2 Mton. Daarnaast daalt het grondstofgebruik van aardolie met vergelijkbare percentages, van 3,380 PJ naar 1,020 PJ tot 1,860 PJ (zie [tekstbox](#)).

*Het gebruik van aardolie als grondstof daalt uiteraard ook. Met 75.8 Mton aardolieproducten verdwijnt 45-70%, 34 Mton tot 53 Mton. Het Nederlandse aandeel in het totaal aan wegverkeerbrandstoffen is zoals wij eerder zagen ongeveer 30%. Daarmee is het huidige aardolieproduct bestemd voor het Nederlandse wegverkeer op $30\% * 46\% * 75.8 \text{ Mton} = 10.5 \text{ Mton}$. Als wij een efficiëntie van 94% procent aanhouden, was de daarvoor benodigde hoeveelheid aardolie als grondstof $10.5 \text{ Mton} / 0.94 = 11.2 \text{ Mton}$. Met een energie-inhoud van 42 PJ / Mton staat dat gelijk aan 466 PJ - en in de toekomst, 0 PJ. Als wij eenzelfde efficiëntie aanhouden voor alle aardolieproducten, dan is was er oorspronkelijk een non-energetisch gebruik van $75.8 \text{ Mton} / 0.94 * 42 \text{ PJ} / \text{Mton} = 3,390 \text{ PJ}$. Met een volume afname van 45-70% valt daarvan dan 1,520 tot 2,360 PJ weg.*

Het is natuurlijk mogelijk dat één of meer raffinaderij(en) gered zullen moeten worden door de overheid om te voorkomen dat er een kettingreactie van sluitende bedrijven optreedt in het Rotterdamse havengebied. Het is moeilijk voorstelbaar dat de raffinaderijen open blijven indien er gedurende 15-30 jaar een continue krimp zich zou voordoen van tussen de 1% en 7.5% per jaar en er ook geïnvesteerd moet worden in het ombouwen van de raffinaderij voor een andere productsamenstelling. Misschien is het verstandig als de overheid hier tijdig afspraken over gaat maken met de industrie.

⁵² IEA (2015): Energy Balance The Netherlands 2013

Klimaatkans 2: De metallurgische industrie en zelfrijdende deelauto's

Er is de laatste tijd steeds meer aandacht voor zelfrijdende auto's. Niet alleen bedrijven in de auto industrie (voornamelijk Tesla), maar ook technologiebedrijven als Google zijn bezig met het ontwikkelen van zelfrijdende auto's⁵³. Het lijkt erop dat weinig mensen zich realiseren dat een dergelijke auto eigenlijk een taxi is en dat daarom de stap naar het delen van deze auto best klein is. Die stap wordt nog wat aantrekkelijker gemaakt, doordat de reiskosten per km bij delen veel lager zijn dan vrijwel elk type gemotoriseerd vervoer - ongeveer 25% van de reiskosten per km van een privé auto. Als zelfrijdende auto's gedeeld worden, betekent dat ook dat, door de nieuwe, zeer hoge 'bezettingsgraad' van auto's, slechts 10% van het huidige aantal auto's nodig is. Een grote industrie die dit zal merken en waarvoor dit een exogene ontwikkeling is, is de metallurgische industrie. 18% van de Europese staalconsumptie is voor rekening van auto's; als er in de toekomst (vrijwel) enkel gedeelde zelfrijdende auto's zijn, krimpt de staalindustrie met 16%.



Context

De routekaart van de metallurgische industrie vermeldt geen enkele connectie tussen zelfrijdende deelauto's en metaalproductie

Volgens EUROFER, de vereniging van Europese staalproducenten, was in 2010 18% van de Europese staalconsumptie voor de rekening van de automotive industrie⁵⁴. Echter wordt er veel staal geconsumeerd buiten Europa, aangezien de meeste auto's geproduceerd worden buiten Europa. Wereldwijd ligt het staalconsumptie aandeel van de automotive industrie rond de 5%⁵⁵.

In de routekaart voor een CO₂-arm Europa van de EUROFER wordt getracht manieren te vinden om de Europese staalindustrie te laten voldoen aan de Europese normen omtrent emissiereducties. Daarin wordt expliciet geconcludeerd dat dit zowel technisch als economisch onhaalbaar is: "[f]rom today's perspective (...) the objectives proposed (...) of 43-48% by 2030 and 88-92% by 2050 compared to 2005 levels is technically and economically unachievable for the steel industry (...)"⁵⁶. Van alle in de roadmap genoemde maatregelen om de CO₂-uitstoot te verlagen, heeft volgens de auteurs het maken van lichtere auto's en vrachtwagens het grootste besparingspotentieel⁵⁷. De term 'zelfrijdende auto's' komt nergens voor.

⁵³ Google (2016): Google Self-Driving Car Project.

⁵⁴ EUROFER (2013): A steel roadmap for a low carbon Europe 2050. p.17

⁵⁵ 80 Mton consumptie op 1537 Mton consumptie, zie World Steel (2014): World Steel in Figures 2015 en World Steel (2016): Steel Markets. Automotive.

⁵⁶ EUROFER (2013): A steel roadmap for a low carbon Europe 2050. p.11.

⁵⁷ EUROFER (2013): A steel roadmap for a low carbon Europe 2050. p.27.

Trend

Zelfrijdende auto's verschijnen waarschijnlijk het komende decennium in Europa

Als auto's zelfrijdend worden, kan het mogelijk worden met bijvoorbeeld een smartphone een auto op te roepen. Een zelfrijdende auto maakt wat voorheen de bestuurder was een passagier, en dat heeft grote implicaties. Dat maakt de zelfrijdende auto in zekere zin een taxi; en een taxi is een dienst die meerdere mensen vervoert. Het is daarom niet nodig om een zelfrijdende auto te bezitten; een zelfrijdende auto is minstens net zo beschikbaar als een auto die voor de deur staat, omdat ze zelf naar de opvrager toe komt rijden (binnen een minuut bij voldoende aantallen). Bovendien is het financieel aantrekkelijker om bijvoorbeeld een abonnement op een zelfrijdende auto te nemen. Deze punten worden ook genoemd in het nieuwe master plan van Tesla, waarin Elon Musk schrijft dat er ook een gedeelde Tesla fleet zal ontstaan, deels in bezit van 'prosumenten', deels in bezit van Tesla zelf⁵⁸. Als Nederlanders op een dergelijke manier zelfrijdende auto's gaan delen, zijn er fors minder auto's nodig en is er een veel kleinere afzetmarkt binnen de automotive sector⁵⁹.

Bij een dergelijke nieuwe technologie met ingrijpende impact is het belangrijk te weten met welke termijn deze commercieel beschikbaar zal zijn, en het antwoord daarop ligt volgens diverse onderzoeken in de tweede helft van het volgende decennium. Er worden vaak zes stadia qua autonomie onderscheiden: no automation, driver assistance, partial automation, conditional automation, high automation en tot slot full automation⁶⁰. Op dit moment is op commerciële schaal partial automation bereikt en is de verwachting dat een paar jaar voor 2030 fully automated auto's beschikbaar zijn. Voor de beschikbaarheid van volledig autonome voertuigen verwacht KPMG na 2025⁶¹, de Department of Transport van de Britse overheid 'na 2020'⁶², de Franse overheid 'in 2020'⁶³. Elon Musk, de CEO voor Tesla, mikt echter al op 2018⁶⁴.

Bij de introductie van zelfrijdende deelauto's zullen jongere generaties waarschijnlijk early adopters zijn, aangezien zij meer op beleving en minder op bezit gericht zijn dan hun ouders

Uiteraard is het beschikbaar komen van een technologie nog geen garantie tot het gebruik van die technologie. Een zelfrijdende auto is allereerst een geautomatiseerd proces, daar waar eerder de gebruiker in controle was, zijn of haar aandacht hield bij de verplaatsing en omgeving en ook verantwoordelijk was voor de manier waarop de auto voortbewoog. Mensen die al jaren auto gereden hebben, zullen waarschijnlijk flink moeten wennen aan de rolwisseling van bestuurder naar passagier (in een voertuig zonder bestuurder). Vertrouwen

⁵⁸ Musk, E. (2016): Master Plan, Part Deux

⁵⁹ Greenblatt, J.B. & Saxena S. (2015): Autonomous taxis could greatly reduce greenhouse-gas emissions of US light-duty vehicles. *Nature Climate Change* 5: 860-63

⁶⁰ ERTRAC (2015): Automated Driving Roadmap. p.6

⁶¹ KPMG (2015): Connected Autonomous Vehicles Study. p.8.

⁶² Department of Transport (2015): The Pathway to Driverless Cars. p.17

⁶³ Republique Francaise (2013): The New Face of Industry in France. p.15

⁶⁴ Fortune (2015): Elon Musk Says Tesla Vehicles Will Drive Themselves in Two Years.

in de veiligheid van de technologie, het los kunnen laten van het bezitten en besturen van een eigen auto en het kunnen waarderen van de voordelen die een zelfrijdende auto biedt, zijn daarbij belangrijke elementen.

Voor de jongere generaties (Y en later) ligt het bovenstaande verhaal anders. Mensen uit deze generaties reizen vaak met het openbaar vervoer (en worden daarin ook gestimuleerd door het studentenreisproduct) en bezitten vaak (nog) geen auto. Sterker nog, de noodzaak voor hen om een auto aan te schaffen lijkt veel lager dan voor hun ouders. Generatie Y wordt daarnaast vaak gekenmerkt door een verschuiving van bezit naar beleving. Met een dergelijke blik op de wereld is de (over)stap naar een uniek abonnement waarmee het mogelijk is overal te komen, op een tijdstip dat dit deze persoon uitkomt, een ervaring en uiting op zich. Van de huidige autodelers is 49% tussen 24 en 44, terwijl deze groep 27% van de bevolking vertegenwoordigd⁶⁵. Een peiling van Deloitte in 2015 geeft aan dat 34% van generatie Y (geboren tussen 1977 en 1994) bereid is tot het delen van auto's als dit meer gemak geeft⁶⁶. Bij andere generaties is dit 28%.

Impact

Zelfrijdende auto's zullen het afzetvolume aan de automotive sector van de metaalindustrie flink reduceren

De introductie van de zelfrijdende auto⁶⁷ zou niet alleen het afzetvolume naar de automotive sector, maar ook daarmee het eerder bepaalde besparingspotentieel drastisch kunnen doen dalen. Auto's worden nu namelijk gemiddeld slechts 5% van de tijd gebruikt⁶⁸. Als auto's zelfrijdend worden en gedeeld worden, is dan nog maar een fractie van het huidige aantal personenauto's nodig. Simulaties hebben aangetoond dat voor zowel grootstedelijke gebieden (Manhattan) als kleine steden (Ann Arbor) slechts 10% van ons huidige wagenpark volstaat om ons via gedeelde zelfrijdende auto's op piekuren naar onze bestemmingen te brengen⁶⁹.

Als deze zelfrijdende auto's bovendien lichter worden, zal de afzetmarkt voor de staalindustrie nog verder dalen. Auto's worden tevens ook steeds meer opgebouwd uit composieten en plastics⁷⁰, die o.a. 25-35% lichter zijn dan staal van vergelijkbaar sterkte, sneller en goedkoper te fabriceren zijn en ook weerbaarder zijn⁷¹. De vraag is daarmee of het op termijn technisch haalbaar is voor de staalindustrie om qua gewicht te kunnen concurreren met composieten. Aan de andere kant zijn staal en aluminium wel heel goed te recycleren tot het oorspronkelijk kwaliteitsniveau en is dat met plastics waarschijnlijk minder

⁶⁵ TNS NIPO (2014): Monitor Autodelen 2014.

⁶⁶ Deloitte (2015), Does Gen Y want the keys to the car? The changing nature of mobility. P. 7

⁶⁷ Wanneer in dit hoofdstuk over zelfrijdende auto's gesproken wordt, worden gedeelde zelfrijdende auto's bedoeld.

⁶⁸ The Earth Institute, Columbia University (2013): Transforming Personal Mobility.

⁶⁹ The Earth Institute, Columbia University (2013): Transforming Personal Mobility.

⁷⁰ Bio Based Press (2014): Biobased materials in the motor car, part 1: automotive industry's demands.

⁷¹ ATKearney (2012): Plastics: The Future for Automakers and Chemical Companies. p.6.

makkelijk. Tot slot is het ook voorstelbaar dat in de toekomst (het chassis van) auto's gerecycled worden, zodat slechts de motor en/of batterij vervangen wordt. Dat zou de afzet van de staal industrie aan de automotive sector kunnen doen decimeren en leiden tot een energetische besparing van 14 PJ alsook een besparing van 8 PJ vanuit de chemische industrie (zie *textbox*). In de tussentijd komt er bovendien een hoeveelheid staal ter grootte van 2.5 maal de jaarlijkse Europese staalvraag vrij voor recycling uit de auto's die zijn gemaakt om nog door mensen te worden bestuurd.

Staalindustrie.

*In IJmuiden werd in 2013 6.57 Mton staal geproduceerd in de hoogovens, waarbij ongeveer 87 PJ energie verbruikt werd (bron: ETM). Als we aannemen dat 18% hiervan naar de automobielenindustrie gaat (waarschijnlijk is dit aandeel hoger vanwege de hoogwaardige producten die Tata in IJmuiden maakt), dan krimpt de productie met minstens $90\% * 18\% * 6.57 \text{ Mton} = \text{ruim } 1 \text{ Mton}$. Bij gelijke efficiënties staat dat gelijk aan 14 PJ. Verder komt er uiteindelijk ook heel veel staal vrij uit recycling. Als er nog maar 10% van het wagenpark nodig is, 18% van de staalproductie naar de automobielenindustrie ging en we een levensduur van 15 jaar hanteren, komt in 15 jaar tijd 90% ongebruikt / totaal * 15 jaar / auto * 18% staal voor automotive = 243% van de jaarlijkse staalvraag in Europa aan recyclebaar staal vrij. Dat is onder de aanname dat alle aantallen en verhoudingen door de jaren heen constant zijn.*

Chemische industrie.

De financiële omvang van de industrie die vanuit Nederland de automotive industrie bedient is 9.2 miljard euro, waarvan 88% voor export bestemd is⁷². Van de export gaat 44% van de goederen naar Duitsland. Van deze omzet van 9.2 miljard euro is 3.3 miljard euro auto-onderdelen, 2.3 miljard euro (basis)metaal industrie, 0.8 miljard euro aan rubber en kunststof en 1.2 miljard euro vanuit de overige chemische industrie⁷³. We nemen aan dat de industrie achter de auto-onderdelen en het (basis) metaal al meegenomen is.

In 2013 was de omzet van de rubber- en kunststofproductie 8.1 miljard euro en dat van de som van de synthetische vezelindustrie, verfindustrie en kunststofproductie 11.5 miljard euro. Het aandeel voor de automotive industrie is daarmee $0.8 / 8.0$ en $1.2 / 11.5$, beide ongeveer 10%. De chemische industrie verbruikte in 2013 283 PJ (finaal) aan energie⁷⁴. Zoals eerder bij Inconsistentie 1 is besproken, is 156 PJ daarvan voor de raffinaderijen. Een ander groot deel daarvoor gaat naar de kunstmestindustrie, een industrie die later besproken wordt en niet relevant is voor de automotive sector. Als we de kunstmestindustrie uitsluiten, is het restant van bijna 92 PJ voor andere takken binnen de chemiesector. Als van de 10% chemieproducten voor de automotive sector 90% wegvalt, valt daarmee naar schatting ook nog ongeveer 8 PJ van deze 9 PJ weg.

⁷² ING (2015): Nederlandse automotive toelevering. p.4-5.

⁷³ CBS (2016): Industrie; arbeids- en financiële gegevens, SBI 2008, 2009-2013

⁷⁴ CBS (2013): Energiebalans

Zelfrijdende deelauto's kunnen meer dan 75% goedkoper zijn per km dan auto's in privébezit

Vervoer met zelfrijdende auto's brengt ook een ander kostenplaatje met zich mee. Volgens het eerder geciteerde onderzoek dat een vloot van zelfrijdende deelauto's gesimuleerd heeft, kunnen de persoonlijke kosten per gereisde km dalen met 80% van de huidige kosten, afhankelijk van hoeveel km men nu reist⁷⁵. Als men nu 16,000 km per jaar rijdt in een brandstofauto, zullen volgens simulaties die kosten kunnen dalen tot 20% van de oorspronkelijke kosten met een vloot van purpose-built zelfrijdende deelauto's. Dit zijn zelfrijdende auto's die een formaat, comfort en functionaliteit hebben dat voor elke trip in overstemming is met de wens van de gebruiker.

Als zelfrijdende auto's middels een abonnement aangeboden worden, zullen er geen hoge aanschafkosten zijn en kan daarom iedereen, ongeacht leeftijd of milieu, zich via zelfrijdende auto's verplaatsen. Onderhoudskosten zijn daarnaast ook niet direct voor rekening van de gebruiker, omdat deze verdeeld worden over alle gebruikers; ook is er bij autopech vrijwel direct een andere auto beschikbaar. Parkeerkosten zullen ook niet meer bestaan, omdat zelfrijdende auto's vrijwel continu in beweging zullen zijn. Wanneer ze niet iemand vervoeren op de rustigere momenten van de dag, kunnen ze zichzelf op daarvoor aangewezen plekken parkeren. Zelfs laadstations zullen niet aangedaan hoeven worden, omdat gebruikers zullen instappen in een zelfrijdende auto die op basis van hun ingestuurde bestemming genoeg energie heeft om hen daar te brengen; voor lange reizen staat er dan op een wisselplek een opgeladen auto klaar.

We gaan veel meer kilometers maken als het goedkoper en minder vermoeiend wordt om te reizen

Het aantal afgelegde autokilometers per persoon zal waarschijnlijk toenemen, wanneer zelfrijdende auto's in gebruik genomen worden. Het totaal aantal reizigerskilometers in 2014 als bestuurder bedroeg 99.3 miljard km (dat als passagier 45.7 miljard km)⁷⁶. Het aantal reizigerskilometers kan met procenten per jaar toenemen. Niemand weet nog hoe groot deze toename zal zijn; wel is het mogelijk om enkele factoren te benoemen die waarschijnlijk zullen bijdragen aan deze toename.

Zoals hiervoor al besproken is, wordt het veel goedkoper om per auto te reizen, kan dat op elk moment van de dag gedaan worden en is daarom de drempel om ergens naartoe te gaan veel lager. We postulieren dat die autonome groei van het aantal autokilometers er zal zijn, maar enigszins zal worden beperkt door de toegenomen mogelijkheden om op afstand met elkaar te communiceren via Virtual Reality opties.

Voor korte afstandsreizen, waar men nu voor loopt of fietst en een bus neemt, zal men voor het comfort, gemak en de kosten nu wellicht vaker de zelfrijdende auto nemen. De vraag is dan wat er met het andere korte afstand openbaar vervoer (bus, metro en tram) gebeurt: dit zal waarschijnlijk ofwel zelfrijdend worden, ofwel verdwijnen. In het eerste geval lijkt het

⁷⁵ The Earth Institute, Columbia University (2013): Transforming Personal Mobility. p.15

⁷⁶ CBS (2015): Reizigerskilometers (personen); vervoerwijzen, regio's.

plausibel dat het gebruik enigszins zal afnemen, in het laatste geval zullen deze reizigerskilometers vervangen worden door zelfrijdende autokilometers. Enige regulering is hier wellicht nodig om te voorkomen dat de binnensteden dichtslibben met zelfrijdende voertuigen.

Voor lange afstandsreizen gaat de zelfrijdende auto wellicht korte vliegvluchten vervangen of wordt hij ingezet in combinatie met (internationale) hoge snelheidstreinen. Voor vliegvluchten bespaart het namelijk de reis van en naar het vliegveld en de wachttijd aldaar; bovendien is het comfortabeler en minder stressvol.

Daarnaast stelt de zelfrijdende auto vrijwel geen eisen aan de gebruiker: kinderen en ouderen, leeftijdsgroepen die nu niet zelfstandig per auto reizen, zouden dat in de toekomst wel kunnen doen.

Tot slot legt een reis in een zelfrijdende geen beslag op onze aandacht. Het is mogelijk om tijdens de reis te werken of te ontspannen, iets wat als bestuurder niet mogelijk is. Er zullen daarom bijvoorbeeld ook purpose-built zelfrijdende auto's met werkfunctie komen, voorzien van een ingebouwd bureau en alle benodigde functionaliteiten en communicatiekanalen.

De introductie van zelfrijdende auto's leidt naast lagere kosten tot meer tijd, fors lagere CO₂-uitstoot, minder ongevallen etc.

De introductie van de zelfrijdende auto heeft daarnaast nog diverse hogere orde effecten. Elon Musk heeft in april 2016 op basis van de ervaringen met de Tesla Autopilot aangegeven dat er ongeveer 50% minder airbags tot ontploffing komen als de autopilot actief is, dan als de bestuurder de controle over het voertuig heeft⁷⁷. De Tesla auto's geven namelijk continu hun data door aan Tesla en Tesla registreert ruim 400,000 km per dag met de al geleverde Tesla's⁷⁸. Als zelfrijdende auto's inderdaad veel veiliger blijken, dan kan dat ook een gigantische impact hebben op de inkomsten van verzekeringen⁷⁹.

Welke extra veiligheid autonome voertuigen opleveren ten opzichte van menselijke bestuurders kan nog niet exact worden beantwoord. Wel wordt het aantal verkeersongevallen dat veroorzaakt is door menselijk handelen geschat op 94%⁸⁰ en lijken de eerste resultaten van Google en Tesla te duiden op aanzienlijk minder ongelukken. In dat licht is de proef die Volvo binnenkort gaat doen met 100 autonome auto's in de stad Londen van belang⁸¹. Hierbij gaan 100 gewone gezinnen in een stedelijke omgeving in autonome auto's rijden.

Zelfrijdende taxi's kunnen de broeikasgasuitstoot van auto's sterk verminderen. Figuur 4 laat het resultaat zien van een studie van het Lawrence Berkeley National Laboratory. Deze

⁷⁷ Electrek (2016): Tesla's Autopilot lowers probability of having an accident by 50% based on early data, says Musk

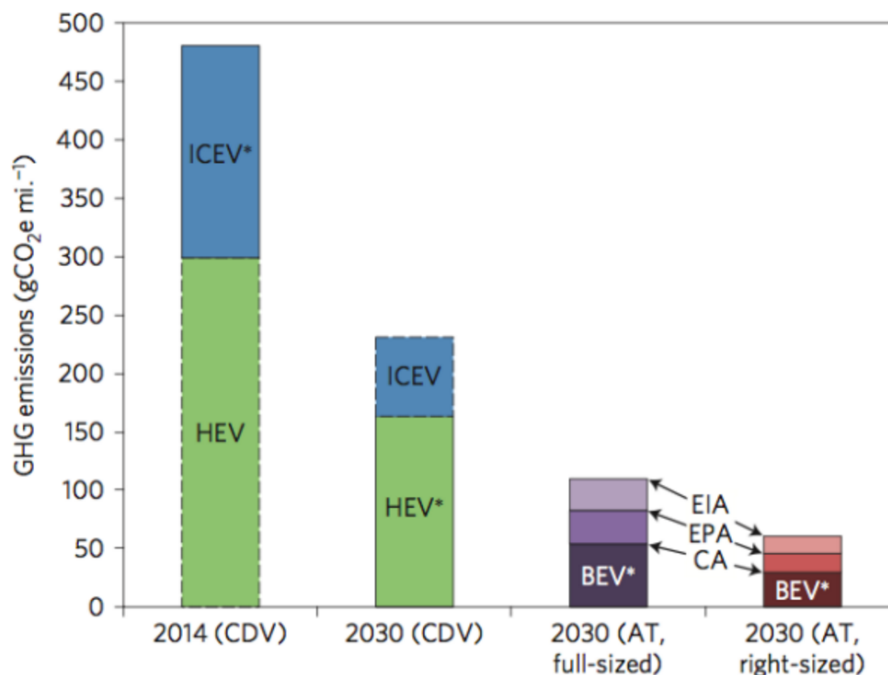
⁷⁸ Electrek (2016): Google's self-driving car vs Tesla Autopilot: 1.5M miles in 6 years vs 47M miles in 6 months.

⁷⁹ Wall Street Journal (2016): Driverless Cars Threaten to Crash Insurers' Earnings

⁸⁰ KPMG (2015): Connected Autonomous Vehicles Study. p.21.

⁸¹ The Guardian (2016): Volvo to test self-driving cars on London's roads next year.

studie voorspelt dat een elektrische zelfrijdende taxi in 2030 63-82% minder CO₂ per kilometer uitstoot dan een hybride auto en 90% minder dan een benzine auto.



Figuur 4: Zelfrijdende taxi's kunnen de broeikasgas uitstoot van auto's sterk verminderen. CDV staat voor conventionally driven vehicles, AT voor autonomous taxis. ⁸²

Discussie

Als alle auto's vervangen worden door zelfrijdende auto's, leidt dat dus tot significante energie- en CO₂-besparingen. Er zijn 90% minder wegvoertuigen nodig, wat leidt tot een besparing van circa 14 PJ in de metaalindustrie (die krimpt met 16%) en 8 PJ in de chemische industrie. Verder zal het aantal autokilometers toenemen door het grotere aantal potentiële gebruikers, de kosten, verschuivingen van lokaal openbaar vervoer naar de auto, maar ook de mogelijkheid dat ritten meer gecombineerd kunnen worden. Dit alles maakt het zeer lastig om een inschatting te maken van de groei. Het lijkt veilig een extra groei per jaar van autokilometers op te nemen.

⁸² Greenblatt, J.B. & Saxena, S. (2015): Autonomous taxis could greatly reduce greenhouse-gas emissions of US light-duty vehicles. *Nature Climate Change* 5: 860-63

Klimaatkans 3: Kunstmest uit aardgas en kunstmest uit (overschotten) weerstroom

Kunstmest bevordert de bodemvruchtbaarheid en is een van de belangrijke enablers van onze huidige dichtbevolkte wereld. Een belangrijke grondstof voor kunstmest is ammoniak, dat gemaakt wordt middels het Haber-Bosch proces waarbij stikstof en waterstof met elkaar reageren. Traditioneel wordt het benodigde waterstof uit aardgas verkregen; dit is echter een proces dat hoge temperaturen vereist en waarbij CO₂ vrijkomt. Waterstof zou echter ook geproduceerd kunnen worden middels elektrolyse en duurzame elektriciteit uit wind- en zonnestroom. Door het volatiele karakter van een steeds groter wordend geïnstalleerd vermogen zullen overschotten wind- en zonnestroom ontstaan die zo groot zijn, dat ze wellicht lastig door alle andere sectoren volledig gebruikt kunnen worden. De kosten per unit energie zullen hierdoor lager komen te liggen voor elektriciteit dan voor aardgas. Dit zou binnen de kunstmestindustrie 67 PJ aan niet-energetisch aardgasgebruik, 10 PJ energetisch aardgasgebruik en 0.5 Mton CO₂-uitstoot vervangen door 51 PJ aan duurzame elektriciteit. Bovendien maakt het de industrie door de lage energiekosten van deze duurzame elektriciteit veel competitiever.



Context

Ammoniak, een belangrijke grondstof voor kunstmest, wordt momenteel geproduceerd uit stikstof en waterstof dat middels een energie intensief proces uit aardgas verkregen is

In dit hoofdstuk wordt het huidige productieproces van ammoniak (als bestandsdeel voor kunstmest) toegelicht en de energetische aspecten ervan behandeld. Yara Nederland is een producent van o.a. kunstmest. Yara gebruikte in 2015 ongeveer 2 miljard m³ aardgas of ongeveer het energie-equivalent van 63 PJ en is daarmee veruit de grootste verbruiker van aardgas in ons land.

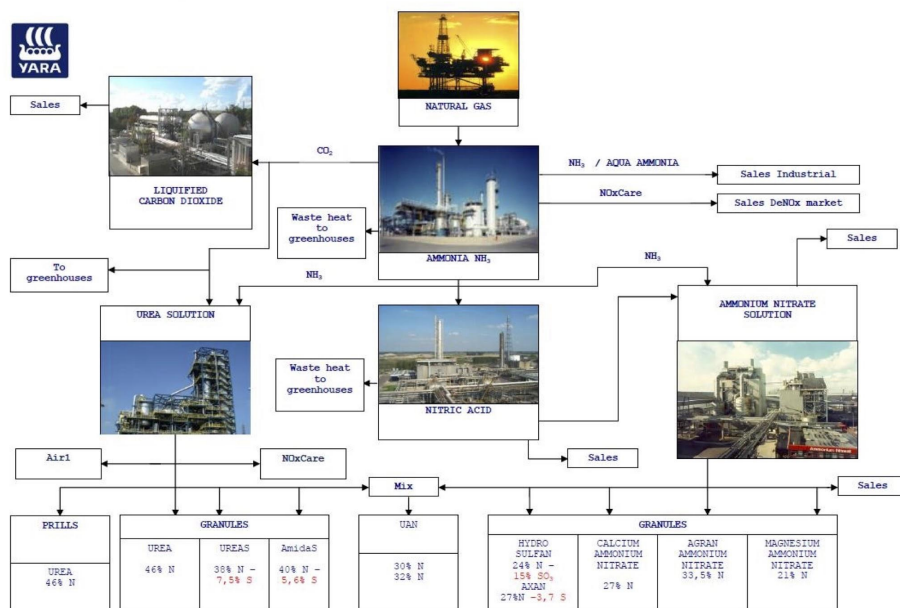
Yara gebruikt aardgas als startpunt voor de productie van ammoniak (NH₃) voor bijna al haar producten (zie figuur 5)⁸³. Ammoniak wordt geproduceerd door stikstof (N₂) uit de lucht bij hoge temperaturen (ong. 400-450 °C) te laten reageren met waterstof (H₂) in het Haber-Bosch proces⁸⁴. Dit waterstof wordt nu verkregen door aardgas reforming: aardgas reageert bij hoge temperaturen (ong. 700-110 °C) met water (stoom) onder de aanwezigheid van een katalysator. Van de 63 PJ die Yara jaarlijks gebruikt, gaat naar schatting 55 PJ naar de waterstofproductie en 8 PJ naar de ammoniakproductie (zie [textbox](#)).

⁸³ Yara Sluiskil (2016): Generals presentation.

⁸⁴ Yara (2016): Various Production Processes. Nitrogen.

80% van Yara's aardgas consumptie betreft aardgas als grondstof voor de kunstmest en 20% dient als brandstof voor het genereren van warmte en elektriciteit⁸⁵. Een deel van de resterende 20% wordt gebruikt voor de warmtelevering voor deze twee processen. Dat betekent dat 80% van de 63 PJ = 50 PJ aan aardgas die Yara jaarlijks in Sluiskil verbruikt door aardgas reforming omgezet wordt tot waterstof met een 72% efficiëntie⁸⁶, wat 36 PJ aan waterstof geeft. Hierin is met de efficiëntie reeds de voor dit proces benodigde warmte verwerkt. Daarom gaat er eigenlijk dus meer dan 80% (enkel bestemd als grondstof) van het aardgas naar het eerste proces en resteert er niet nog 20% van het jaarlijkse aardgasgebruik (oftewel 13 PJ) voor het tweede proces, maar iets minder. Naar schatting wordt daarom 5 PJ van deze 13 PJ energetisch gebruikt voor aardgas reforming.

Ammonia, de backbone for fertilizers and nitrogen based chemicals



Figuur 5: Yara gebruikt aardgas als startpunt voor de productie van Ammoniak (NH₃) voor bijna al zijn producten.

Op dit moment is het op kostenbasis logisch om waterstof uit aardgas te maken, maar het is ook mogelijk om waterstof uit water te maken middels elektrolyse. De vraag is uiteraard wat op lange termijn gunstiger is.

⁸⁵ Yara Sluiskil (2016): Generals presentation.

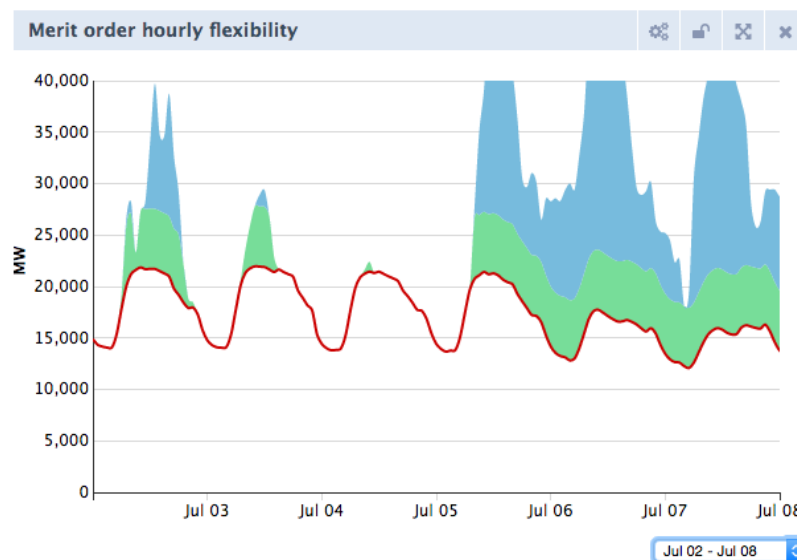
⁸⁶ Department of Energy, Hydrogen Analysis Resource Center (2016): Hydrogen Production Energy Conversion Efficiencies.

Trend

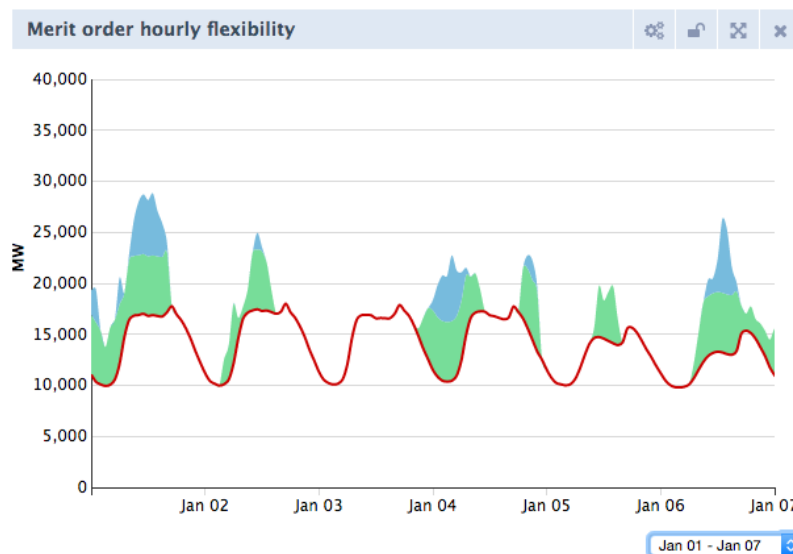
Er komen overschotten aan weerstroom en de elektriciteitsprijs gaat waarschijnlijk dalen, waardoor elektrolyse als waterstofproductietechniek zeer interessant wordt

Nu zijn er al in Duitsland en over een paar jaar ook in Nederland momenten dat er voldoende opgesteld vermogen zonnepanelen en windmolens staat om enkele uren per jaar voor 100% op elektriciteit uit wind en zon te draaien. Doordat deze weerstroom nul marginale kosten heeft, daalt de prijs van elektriciteit zolang de inrichting van de elektriciteitsmarkt zoals deze nu is bepaald behouden blijft. In een toekomst met een groot vermogen aan elektriciteitsproductie uit zon en wind, volstaan deze twee productiemethoden om ongeveer 40% van de tijd de elektriciteitsbehoefte geheel te vervullen en ontstaan daarbij stroomoverschotten van meer dan 110 PJ (zie [textbox](#)).

In de beelden voor de RLI (95% CO₂-reductie in 2050) en Urgenda (100% hernieuwbaar in 2030) staat zoveel vermogen uit zon en wind opgesteld dat we in Nederland ongeveer 3,336 uur (RLI) en 3,877 uur (Urgenda) per jaar volledig op zonen windstroom zullen draaien, respectievelijk 38% en 42% van de tijd. In deze scenario's ontstaan "stroomoverschotten" van 111 PJ (voor beide). Die "overschotten" zullen niet echt ontstaan, omdat de markt manieren gaat verzinnen om die overschotten nuttig in te zetten. Figuur 3 en 4 laten van beide scenario's een week in respectievelijk de zomer en winter zien.



Figuur 6: RLI 2050 scenario in het ETM: overschotten in een week in de zomer. De rode lijn geeft de vraag weer, gearceerde gebieden daarboven de overschotten.



Figuur 7: Urgenda 2030 scenario in het ETM : overschotten in een week in de winter. De rode lijn geeft de vraag weer, gearceerde gebieden daarboven de overschotten.

Deze overvloedige stroom kan op meerdere manieren benut en ingezet worden:

- Opslaan in buffers (batterijen, warmwater etc.)
- Omzetten naar waterstof (en vervolgens eventueel naar ammoniak)
- Inzetten in bedrijfsprocessen die rendabel worden bij een lage stroomprijs (denk bijvoorbeeld aan ionenwisseling, destillatie, LED licht voor algengroei in reactoren)

Met name de omzetting naar waterstof als de stroomprijs laag is, is interessant voor Yara. Hiermee kan de voor ammoniakproductie benodigde waterstof geproduceerd worden tegen lage kosten en zonder CO₂-uitstoot. Er kan bovendien met de overschotten van 110 PJ reeds tweemaal Yara's jaarlijkse benodigde hoeveelheid geproduceerd worden (zie *textbox*).

Het rendement van de omzetting van water naar waterstof door elektrolyse is ongeveer 67%⁸⁷. Als de 111 PJ aan Nederlandse stroomoverschotten kunnen worden gebruikt om waterstof te produceren, kan er met een 67% efficiëntie 74 PJ aan waterstof gemaakt worden. Dat is reeds fors meer dan de 36 PJ die Yara nu door aardgas reforming produceert. Bovendien is de CO₂-uitstoot bij elektrolyse 0 en wordt op basis van een productie van 36 PJ waterstof hiermee een CO₂-uitstoot van 0.3 Mton vermeden. Vervolgens kan het aldus uit stroomoverschotten geproduceerde waterstof via het tweede, bestaande Haber-Bosch proces omgezet worden tot ammoniak.^{88 89}

⁸⁷ Department of Energy, Hydrogen Analysis Resource Center (2016): Hydrogen Production Energy Conversion Efficiencies.

⁸⁸ ISPT (2016): Power to Ammonia. Storing renewable energy as ammonia.

⁸⁹ Delta (2013): 'De waterstof-economie zou in de praktijk wel eens een ammonia-economie kunnen worden'.

Impact

Deze optie van power to gas (waterstofproductie uit overschotten weerstroom) gecombineerd met het Haber-Bosch proces verlaagt de noodzaak om groengas of aardgas in te zetten in de energie- en grondstoffenvoorziening met 2 miljard m³ per jaar alleen al voor Yara in Sluiskil. Indien alle ammoniakproducten hun waterstof via power to gas produceren, leidt dat tot een besparing van 10 PJ aardgas als brandstof, 67 PJ aardgas als grondstof en ruim 0.5 Mton energetische CO₂ uitstoot (zie [tekstbox](#)). Door de dan fors lagere energie- en grondstofkosten in vergelijking met aardgas maakt dit de kunstmestproducenten ook veel competitiever.

*Power to gas zou voor Yara 55 PJ (50 PJ non-energetisch en 5 PJ energetisch) van de 63 PJ aan aardgasgebruik en daarbij maximaal 0.3 Mton aan CO₂-uitstoot kunnen wegnemen. In heel Nederland werd er in de kunstmestindustrie 67 PJ aardgas als grondstof gebruikt en 26 PJ aardgas als brandstof⁹⁰. Als deze overstap gemaakt wordt door alle ammoniakproducenten, dan is er 0 PJ aardgas als grondstof en slechts $(63 \text{ PJ} - 55 \text{ PJ}) / (63 \text{ PJ} - 50 \text{ PJ})$ (fractie aardgas voor waterstofproductie) * 26 PJ = 16 PJ aardgas of groengas als brandstof nodig. Met de 10 PJ aan brandstof die bespaard wordt, wordt energetisch $10 \text{ PJ} * 0.055 \text{ Mton} / \text{PJ} = 0.55 \text{ Mton}$ CO₂-uitstoot bespaard.*

⁹⁰ Zie tabel op de volgende pagina, CBS (2013): Energiebalans

Klimaatkans 4: Petrobased chemie en biobased chemie

Een term die veel gebruikt wordt in discussies omtrent energie en het klimaat is de 'biobased economy'. Op de website biobasedeconomy.nl, die opgezet is door de RVO en het ministerie van Economische Zaken, staat dat de biobased economy betrekking heeft op "de overgang van een economie die draait op fossiele grondstoffen naar een economie die draait op biomassa als grondstof"⁹¹. Daardoor lijkt het alsof een economie die compleet draait op biobased grondstoffen het einddoel zou moeten zijn in onze overgang van een petrobased economie naar een klimaatvriendelijkere economie. Wanneer men enkel kijkt naar duurzaamheid, is dat wellicht een goed eindbeeld. Maar wanneer men ook de CO₂-uitstoot meeneemt, dan ontstaat er een ander beeld omdat het energetisch wel uitmaakt welke grondstof gebruikt wordt. Afhankelijk van het eindproduct is het energetisch efficiënter om met een biobased grondstof (koolstofketen met zuurstofatomen) of petrobased grondstof (koolstofketen zonder zuurstofatomen) te beginnen. Het streefbeeld zou dus niet een biobased economie moeten zijn, maar een economie met een recyclebare, energie-efficiënte mix van biobased en petrobased grondstoffen. Daarbij kunnen daarnaast de in het vorige hoofdstuk genoemde stroomoverschotten ook ingezet worden om met flexvermogen bepaalde processen aan te drijven en het energetisch gebruik van de chemie te verduurzamen.



Op dit moment worden aardolie, kolen en aardgas ingezet als grondstof en als energiebron voor de processen van de chemische industrie. Een overzicht hiervan staat in tabel 2.

Chemie (excl. raffinerijen) in 2013 [PJ]	Totaal	Kunststof, rubber, verf, kleur en gassen	Overige anorganische basischemie	Chem. & farm. prod.	Organische basischemie	Kunstmest	Restant
Fin. energetisch gebruik	283	40	26	17	175	26	248
Fin. non-energetisch gebruik	569	8	16	2	477	67	502

***Tabel 2:** Overzicht van toepassingen van aardolie, kolen en aardgas als grondstof en als energiebron voor de processen van de chemische industrie⁹² De kolom 'restant' is gelijk aan het totaal gebruik van de chemie (zonder raffinaderijen) min het gebruik*

⁹¹ BioBasedEconomy (2016): Wat is BBE?

⁹² CBS (2013): Energiebalans

dat in de voorgaande inconsistenties aangekaart is: dat van de kunstmestindustrie en toeleveranciers aan de automobiellindustrie.

Bij voorgaande inconsistenties hebben we al de raffinaderijen, kunstmestproductie en toeleveranciers aan de automobiellindustrie besproken. Hier volgt de resterende hoeveelheid energie en non-energetisch gebruik van aardolie, steenkool en aardgas ten behoeve van de chemische industrie. Het gaat dan om 248 PJ energetisch en 502 PJ non-energetisch finaal gebruik dat resteert om in dit hoofdstuk naar te kijken.

Context

De Nederlandse chemische industrie verwacht dat in 2030 15% van haar grondstoffen biobased is

Laten we eerst stilstaan bij wat de industrie zelf voorziet als streefbeeld voor een klimaatvriendelijkere economie. De VNCI bemoedigt in haar sustainability report van 2013 het gebruik van biomassa als grondstof en, na cascadering, als brandstof⁹³. In de routekaart voor 2030-2050 staat dat verwacht wordt dat de chemische industrie in 2030 begonnen is met het verhogen van het gebruik van afval en bio-based grondstoffen, die 15-20 % van de grondstoffen zullen uitmaken⁹⁴. Hier vallen ook tweede generatie en derde generatie biomassa onder. Het doel is met biomassa en afval als grondstof een deel van de op nafta gebaseerde producten met minder processtappen te vervangen⁹⁵. Volgens het in 2015 uitgebrachte Streefbeeld zal in 2030 15% van de koolstof in de chemische industrie biobased zijn⁹⁶.

Buiten de overkoepelende VNCI is er ook nog een cluster in Rotterdam dat een eigen visie voor de toekomst verwoord heeft. In het actieplan 'Versterking Industriecluster Rotterdam/Moerdijk' worden diverse 'onderscheidende karakteristieken' van het cluster in 2030 gepresenteerd. Daarbij staat onder andere de rol van het cluster als 'leidend platform voor bioraffinage', waarbij biomassa- en afvalstromen omgezet worden in bouwstenen voor biobased chemicaliën en brandstoffen⁹⁷. Op het gebied van biobased chemicals zijn vier platformmoleculen gevonden die uit deze grondstoffen geproduceerd kunnen worden: bio-aromaten, glucose, ethanol en synthesesgas (uit biomassa vergassing). Het team erkent dat na 2030 een grootschalige decarbonisatie nodig zal zijn om aan de CO₂-reductie doelen van 2050 te voldoen, waarbij CCS(U) een rol zal spelen. Karakteristieken of doelstellingen van de sector voor dat jaar worden niet geschetst.

⁹³ VNCI (2013): Sustainability Report 2013. p.36

⁹⁴ VNCI (2012): The Chemical Industry in the Netherlands: World leading today and in 2030-2050. p.3

⁹⁵ VNCI (2013): VNCI visie 2030-2050. p.4

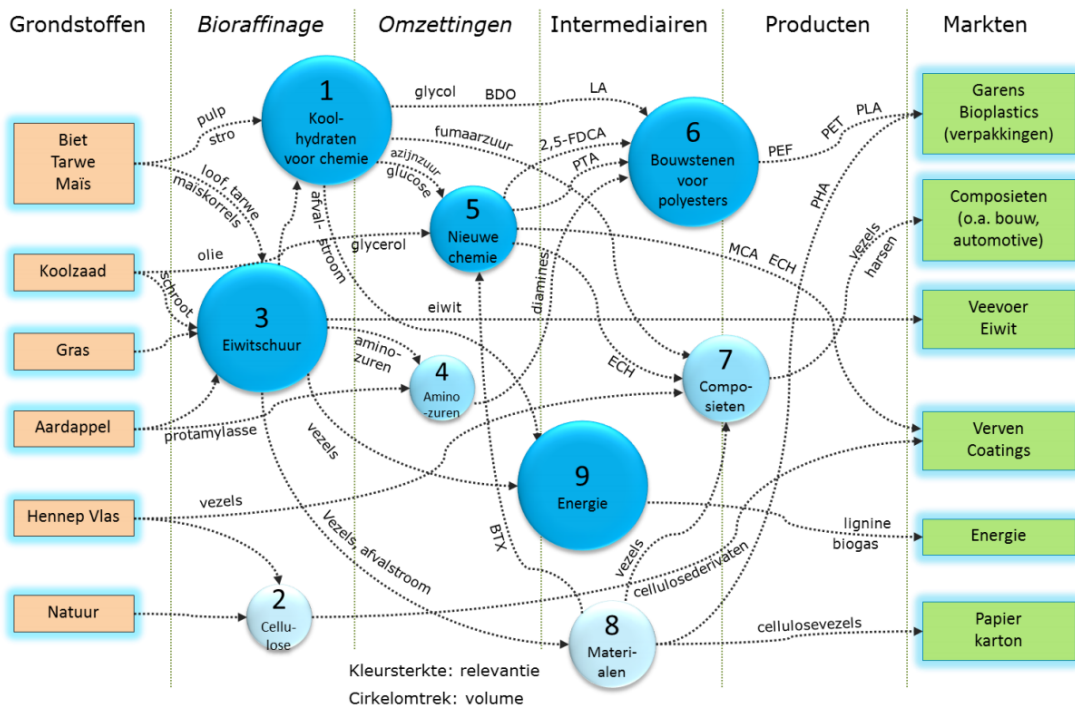
⁹⁶ VNCI (2015): Streefbeeld voor de Nederlandse chemische sector in 2030. p.15

⁹⁷ Kernteam versterking industriecluster Rotterdam/Moerdijk (2016): Samen werken aan een cluster in transitie. p.6

Trend

Biobased chemie kan energetisch interessant zijn voor eindproducten waar een behoefte is aan koolwaterstoffen met functionele groepen

In het rapport Noord4Bio worden de mogelijkheden onderzocht voor de ontwikkeling van biobased clusters en procestoepassingen in het noorden van Nederland. Volgens Johan Sanders, één van de auteurs, zijn biobased oplossingen vanuit economisch perspectief het interessantste in de vorm van A) nutritionele eiwitten, B) buildings blocks voor de chemische industrie en C) materialen. Deze onderwerpen worden afzonderlijk behandeld in de [tekstbox](#). Interessant is dat biobased chemie ook mogelijkheden voor verlaging van de kapitaalkosten en verhoging van de werkgelegenheid lijkt te bieden.



Figuur 8: Overzicht van de samenhang van de biomassaketens uit het Noord4Bio rapport.

Nutritionele eiwitten:

Voor veevoer is onder andere eiwit nodig, en om specifiek te zijn, een aantal aminozuren. Op dit moment wordt meer dan de helft van het eiwit geïmporteerd; de rest wordt geproduceerd. Vaak is de samenstelling van het veevoer niet optimaal wat betreft aminozuren. Van sommige aminozuren en andere stoffen is er te veel en slechts één of enkele aminozuren vormen de beperkende factor in het veevoer. Isolatie van aminozuren uit biomassa door bioraffinage kan bijdragen aan hoogwaardiger veevoer en het verminderen van import. Bovendien kunnen de stoffen die “teveel” waren in het oorspronkelijke veevoer nu ingezet worden als buildings blocks voor de biochemie. Dit onderwerp wordt verder behandeld in het hoofdstuk over centrale mengvoederindustrie en decentrale grasraffinage.

Building blocks:

Het eerste cluster betreft het isoleren en verkrijgen van koolhydraten uit biomassa. Om 25% van de petrochemische grondstoffen te vervangen die ertoe dienen basischemicaliën te produceren, is afhankelijk van de keten 2-6 Mton suiker per jaar nodig⁹⁸. Dat kan verkregen worden uit 3-9 Mton aan grondstoffen zoals bieten, granen en mais, waarvan reeds 20 Mton / jaar geproduceerd wordt, grotendeels als veevoer. Dit is dan ook gelinkt aan cluster zes, waar polyesters (zo ook PET en PEF) geproduceerd worden uit verkregen koolhydraten. Bij inzet van aminozuren (cluster vier) kunnen zelfs diverse energie-intensieve stappen uit de petrochemie overgeslagen worden, aangezien zij reeds voorzien zijn van zuurstof- en stikstofgroepen⁹⁹. Ook kan men fermentatie-bacteriën werk laten verrichten, al is de schaalgrootte daarvan onzeker.

Materialen:

Tot slot kunnen van bovenstaande bouwstenen producten gemaakt worden als bioplastics en composieten. Composieten zijn materialen die bestaan uit vezels gecombineerd met een thermoplast of thermoharder en gebruikt worden in voertuigen en constructies. Een goed voorbeeld van de hele keten is de case van Avantium, dat uit biomassa verkregen koolhydraten omzet tot PEF, een biobased vervanger van PET (8% van de plastics wereldwijd is PET).

Uit de *tekstbox* blijkt dat biobased stoffen energie-intensieve stappen in de petrochemische ketens kunnen helpen vermijden en tot nuttige producten kunnen leiden, of juist als buildings block in een bestaand proces ingezet kunnen worden (drop-ins). In dit laatste geval zou als het uiteindelijke product recyclebaar is, daarmee het product met biobased component dat ook zijn.

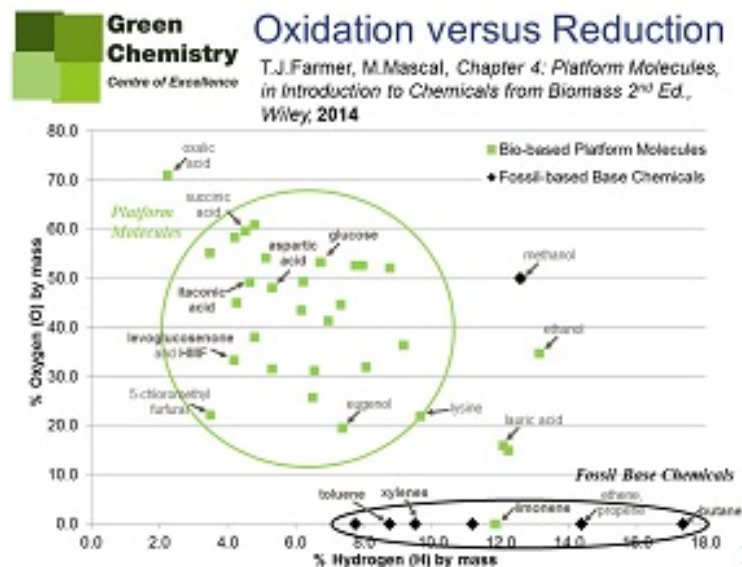
De biobased industrie kent echter ook haar beperkingen. De basischemicaliën (o.a. ethyleen, propyleen, butadieen, benzeen en toluen) zijn koolwaterstoffen zonder functionele zuurstof of stikstof groepen. Biobased stoffen hebben wel dergelijke groepen. Het is daarmee interessant om biobased stoffen in te zetten voor doeleinden waar deze groepen gewenst zijn, en niet daar waar het juist extra energie zou kosten deze te verwijderen.

⁹⁸ Wageningen UR (2015): Noord4Bio. p.45.

⁹⁹ Wageningen UR (2015): Noord4Bio. p.82,

Biobased chemie is interessanter naar mate de complexiteit van het startmolecuul behouden wordt en zo min mogelijk structuursveranderingen plaatsvinden

Dit vorige punt is een mooi opstapje naar een belangrijke vuistregel voor de toepassing van biobased materialen in de chemische industrie: het zoveel mogelijk behouden van de complexiteit van de biomassa¹⁰⁰. Dit komt neer op het zo weinig mogelijk (hoeven) manipuleren van de structuur van een stof om het gewenste eindproduct te krijgen; met veel moeite is van biobased grondstoffen vrijwel elk product te maken, maar wel tegen een (energetisch) hoge prijs. Hoe wordt dan bepaald of het energetisch interessanter is om vanuit een petrobased grondstof of een biobased grondstof te beginnen? Een simpele overkoepelende methode om production pathways te vergelijken is ontwikkeld door Thomas Farmer van de universiteit van York. De basis voor deze methode is een grafiek met het massapercentage waterstof op de x-as en het massapercentage zuurstof op de y-as. De production pathways kunnen in kaart gebracht worden door simpelweg de route te tekenen van grondstof naar product, via alle tussenproducten. In de *tekstbox* wordt deze methode toegepast op een paar voorbeelden. Hieruit blijkt dat het maken van een op biologische grondstoffen gebaseerd PET flesje energetisch een veel slechter idee is dan het maken van petrobased PET flesje, maar dat het fabriceren van een bio PEF flesje dat qua structuur zijn biologische grondstoffen meer gelijk juist wel interessant is.

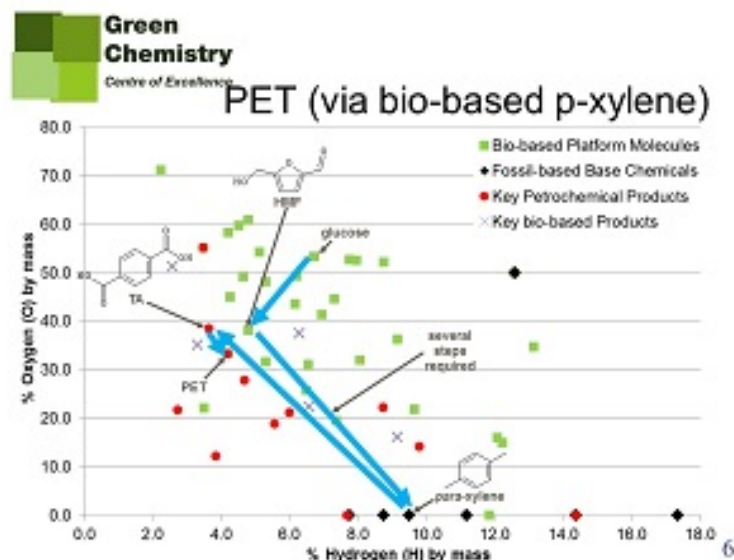


Figuur 9: Petrobased versus Biobased chemicals.

Laten we deze methode toepassen op een voorbeeld. Plastic flesjes zijn veelal gemaakt van PET, een polyester die gemaakt wordt uit het dizuur tereftalaatzuur en

¹⁰⁰ Bio Based Press (2016): The case for new biobased platform chemicals.

de dialcohol ethyleenglycol¹⁰¹. Dit is één van de vijf meest verkochte plastics met een productievolume wereldwijd van 50 Mton per jaar. Een biobased alternatief, bio PET, is het op een-na-grootste biopolymeer qua Europese productie met 0.3 Mton per jaar¹⁰². Coca Cola verkoopt bijvoorbeeld de PlantBottle, waarbij het dialcohol biobased is en de hele fles daarmee voor maximaal 30% biobased is¹⁰³. Hiertoe wordt rietsuiker omgezet in achtereenvolgens bio-ethanol (met zuurstofatomen), etheen (basischemicaal, zonder zuurstofatomen), etheenoxide (met zuurstofatomen) en uiteindelijk bio-based ethyleenglycol. Hierbij worden achtereenvolgens zuurstofatomen verwijderd en weer opnieuw toegevoegd. Het verhaal voor de productie van het dizuur is hetzelfde (hieronder geïllustreerd): voor de productie van tereftaalzuur uit glucose via para-xyleen worden diverse grote, energie-intensieve stappen genomen door de uitwisseling van zuurstofatomen. De bio PET productieketen breekt dus eerst complexe moleculen af tot de meest elementaire bouwstenen uit de basischemie, waarna exact dezelfde stappen als in de fossiele PET keten gevolgd worden om van deze bouwstenen PET te maken. Het is daarom ten zeerste de vraag of de productie van bio-based PET energetisch gunstiger is dan dat van fossil-based PET.



Figuur 10: Biobased PET pathway.

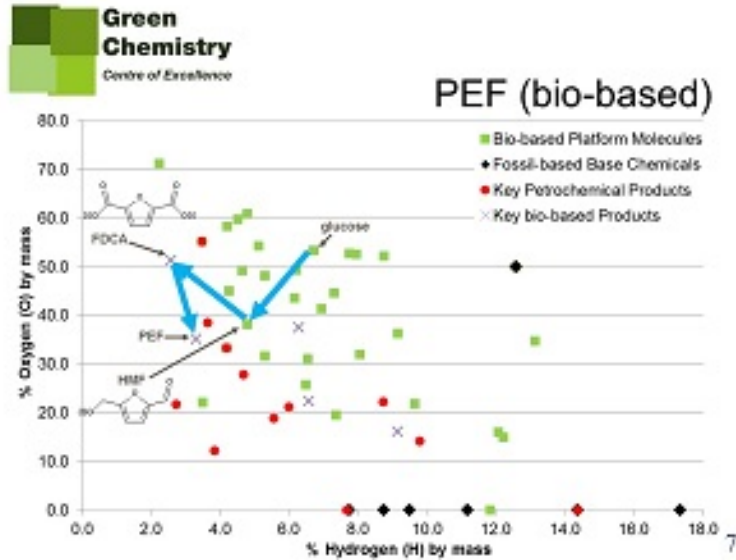
Er zijn echter wel efficiëntere bio-based ketens mogelijk voor de productie van dergelijke grondstoffen voor plastic flessen. Eerder werd het voorbeeld van PEF genoemd, qua eigenschappen veelal een interessanter materiaal dan PET. De productieketen van bio PEF is veel “gestroomlijnder” dan die van bio PET en doet meer recht aan het oorspronkelijk molecuul. De efficiëntie van het biomassa gebruik van de PEF keten is dan ook fors hoger: maximaal 87% versus maximaal 62% voor bio PET¹⁰⁴.

¹⁰¹ Wageningen UR (2013): Green buildings blocks for biobased plastics. p.27

¹⁰² IEA Bioenergy (2013): Bio-based Chemicals. Value Added Products from Biorefineries. p.10

¹⁰³ Wageningen UR (2015): Noord4Bio. p.113.

¹⁰⁴ Biobased Press (2016): The case for new biobased platform chemicals.



Figuur 11: Biobased PEF pathway.

Petrobased chemie is daarentegen juist vaak energetisch interessanter daar waar processen en producten koolwaterstoffen (zonder functionele ketens) behoeven

In het voorgaande zagen we dat biobased alternatieven (bio PET) niet per se energetisch tot lagere kosten leiden dan fossiel-based toepassingen (PET). Veel van de huidige fossiel-based eindproducten zijn producten zonder functionele zuurstof- of stikstofgroepen. Plastic tasjes zijn bijvoorbeeld doorgaans gemaakt van polyethyleen. Om polyethyleen tasjes te maken vanuit biobased grondstoffen, is het nodig om de zuurstofgroepen te verwijderen. Hierdoor (zie ook de *tekstbox*) kost het meer energie om biobased polyetheen tasjes te maken dan petrobased polyethyleen tasjes.

Polyethyleen wordt gemakkelijk verkregen door polymerisatie van het basischemicaal ethyleen. Het wordt geproduceerd bij het stoomkraken van diverse aardoliefracties. Bio polyethyleen (PE) daarentegen wordt verkregen door suikerriet achtereenvolgens te fermenteren, destilleren en dehydreren (hoge temperatuur), waarna het verkregen bio ethyleen gepolymeriseerd wordt¹⁰⁵. Hierbij wordt van een zuurstofrijke fractie (bio-ethanol) een zuurstofgroep groep verwijderd om een product te generen dat geen zuurstofatomen bevat. In de grafiek van Farmer wordt dit weergegeven met grote verschuivingen.

En deze dehydratie is energie intensief. In een vergelijkende life-cycle analysis vonden onderzoekers dan ook dat het totale energiegebruik hoger lag voor bio-

¹⁰⁵ Central Europe, Plastics (2013): Biopolymers and bioplastics. Plastics aligned with nature. p.21

based PE dan voor fossil-based PE¹⁰⁶. Qua CO₂-uitstoot is de uitkomst afhankelijk van hoeveel landgebruik veranderd is en de duurzaamheid van de energie die verbruikt is. Bio-based PE kan leiden tot tot een forse reductie van CO₂-emissies, maar ook tot vergelijkbare niveaus. Wat sterk meespeelt voor fossil-based PE, is het 'end-of-life' scenario: als zoals doorgaans aangenomen wordt dat PE uiteindelijk verbrand wordt, zorgt dat voor een groot aandeel van de totale CO₂-uitstoot gedurende de levensduur van fossil-based PE. Er zijn echter ook scenario's mogelijk waarbij de CO₂-uitstoot van de fossil-based PE keten lager is dan die van de bio-based PE keten - vooral wanneer het energiegebruik duurzaam is. Dit illustreert dat fossil-based chemie energetisch interessanter kan zijn dan bio-based chemie als de (tussen)producten koolwaterstoffen betreffen.

Impact

Doordat processen met warmteoverdracht kapitaalintensief zijn, vragen kortere en slimmere wegen van grondstof (fossil danwel bio) tot product om minder kapitaal en is decentralisatie een optie

Uit het voorgaande werd duidelijk dat het vanuit energetische overwegingen soms beter is om biobased grondstoffen te gebruiken en in andere gevallen beter is om van fossil-based grondstoffen uit te gaan. Er hangt hier nog meer mee samen: processen met warmteoverdracht zijn doorgaans ook kapitaalintensieve processen. Dit betekent dat er relatief minder kapitaalkosten zijn bij biochemische processen waarbij warmteoverdracht kan worden vermeden door het oorspronkelijke molecuul grotendeels intact te houden. Daarmee hoeven biochemische processen niet per se centraal in een groot havengebied plaats te vinden, maar kunnen zij ook decentraal op kleinere schaal uitgevoerd worden.

Het (her)evalueren van de inzet van zowel petrobased als biobased grondstoffen zou moeten leiden tot een slimmere inzet van beiden, reductie in CO₂-uitstoot en lager energiegebruik

Op basis van het voorgaande en kaders zoals de Farmer diagrammen is het mogelijk zonder uitgebreide studies te bepalen in welke mate een bepaalde grondstof zich leent voor de toepassing die men voor ogen heeft. Het is duidelijk dat biobased moleculen goed als dropins in bestaande processen kunnen fungeren, mits de complexiteit van de oorspronkelijke grondstof zo veel mogelijk behouden wordt en er zo min mogelijk energie-intensieve conversiestappen zijn. Fossil-based productieketens zijn doorgaans energetisch gunstiger als de (tussen)producten koolwaterstoffen betreffen. Dit lijken op het eerste gezicht weliswaar triviale opmerkingen, maar de praktijk laat zien (bijvoorbeeld bio PET en bio PE) dat men hier desondanks tegenin gaat. In het eerder aangehaalde voorbeeld van Coca Cola lijkt een groen imago belangrijker dan een optimale inzet van energie en grondstoffen.

¹⁰⁶ Liptow, C. & Tillman, A. (2012): A comparative Life Cycle Assessment Study of Polyethylene Based on Sugarcane and Crude Oil. Journal of Industrial Ecology 16: p.420-435.

Het klimaatprobleem van de chemische industrie is dus niet noodzakelijk het gebruik van fossiele grondstoffen, maar het gebruik van fossiele brandstoffen

Uit het voorgaande blijkt dat het gebruik van fossiele grondstoffen niet per se een probleem is en zelfs in bepaalde opzichten beter kan zijn dan biobased grondstoffen indien het energiegebruik en/of de CO₂-uitstoot de scope is. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat fossiele productieketens waarbij de energie voor het productieproces komt van 100% hernieuwbaar energie, een lagere CO₂-uitstoot heeft dan een biobased productieketen op basis van volledig hernieuwbare energie. Een grote stap die de chemische industrie kan maken naast de heroverweging van grondstoffen is het vergroenen van het energiegebruik - en dat gaat verder dan het inzetten van groengas in plaats van aardgas. Duurzaam geproduceerde elektriciteit kan bijvoorbeeld ingezet worden om warmte te produceren. Dat lijkt wellicht een verspilling, aangezien hoogwaardige energie omgezet wordt in laagwaardige energie, maar energie uit zon of wind draagt niet bij aan de CO₂-uitstoot en kan op sommige momenten goedkoop zijn. Deze elektriciteit kan dan bijvoorbeeld ingezet worden om restwarmte te upgraden naar hogere temperaturen middels warmtewisselaars, stoomrecompressie of warmtepompen¹⁰⁷. Hiermee kunnen temperatuursprongen van potentieel meer dan 75 °C gerealiseerd worden. Ook kunnen diverse scheidingsprocessen uitgevoerd met elektriciteit in plaats van warmte.

Power to products, een flexibele afstemming van productieprocessen op overschotten, leidt tot duurzamer en goedkoper energiegebruik

Er is nog een andere manier waarop de chemische industrie kan verduurzamen, namelijk door overschotten te gebruiken. Eerder werd bij het hoofdstuk over de ammoniakproductie reeds gesproken over de overschotten weerstroom die zullen ontstaan en ingezet kunnen worden om waterstof te produceren. Er zijn echter ook andere processen die deze overschotten weerstroom zouden kunnen gebruiken, namelijk door flexibel, zoveel mogelijk in overeenstemming met deze overschotten, te produceren. Hierdoor wordt enerzijds geproduceerd op momenten dat elektriciteit goedkoop en duurzaam is, maar anderzijds hoeft er daardoor ook minder geproduceerd te worden wanneer elektriciteit duurder is en er geen overschotten zijn. In de [tekstbox](#) wordt gekeken naar wat de mogelijkheden op korte termijn zijn, in het volgende hoofdstuk naar de effecten op lange termijn.

In het rapport Power to Products van Berenschot wordt gekeken naar vijf concrete business cases waarbij flexvermogen (vermogen dat inspeelt op de beschikbaarheid van elektriciteit) ingezet wordt. Hieruit blijkt dat het economisch potentieel momenteel beperkt is, wat grotendeels komt door de kleine behoefte aan flexibiliteit gecombineerd met de relatief lage vergoeding voor investeringen¹⁰⁸. Momenteel zijn de overschotten vrij gelimiteerd; echter er kan op korte termijn veel veranderen. Met een Energieakkoord scenario in 2023 van 11 GW wind en 7 GW zon op een elektriciteitsvraag die doorgaans fluctueert tussen 8 en 18 GW, zijn er veel grotere kansen voor flexibiliteit. Wel moet daarbij als kanttekening geplaatst worden dat de

¹⁰⁷ ISPT (2016): Utilities and optimal use of heat.

¹⁰⁸ Berenschot (2015): Power to Products. p.15

baseload aan elektriciteitsvraag waarschijnlijk hoger komt te liggen door elektrificatie van de gebouwde omgeving en vervoer. Tabel 3 komt uit het Power to Products rapport en bevat de gemiddelde kosten voor een MWh elektriciteit gedurende de goedkoopste 500, 1.000 en 1.500 uur voor diverse scenario's.

GEMIDDELDE KOSTEN ELEKTRICITEIT PER MWH				
	2013	2023		
		P2P scenario 1: 4 GW wind, 2 GW zon	P2P scenario 2: 11 W wind, 7 GW zon	P2P scenario 3: 10 GW wind, 6 GW zon, uitfasering WKK
500 uur	€ 20	€ 19	€ -	€ 2
1.000 uur	€ 25	€ 29	€ 6	€ 12
1.500 uur	€ 27	€ 33	€ 15	€ 20

Tabel 3: Gemiddelde kosten van elektriciteit per MWh.

Hieruit blijkt dat in het Energieakkoord scenario (nummer 2), er minstens 500 uur aan 'gratis' elektriciteit is. Zelfs voor meer dan 10% van de tijd ligt de elektriciteitsprijs op 6 euro per MWh. Ter vergelijking: in het SER Energieakkoord 2023 scenario is aardgasprijs 30 euro per MWh¹⁰⁹.

Power to products is ook een kans voor de chemische industrie om haar concurrentiepositie te verbeteren

Op korte termijn is het dus mogelijk om 500 uur aan gratis elektriciteit te gebruiken, maar op lange termijn een veelvoud. In Quintels Urgenda en RLI scenario is er niet minstens 500 uur, maar gemiddeld ongeveer 3,500 uur waarop er "electriciteitsoverschotten" zijn. Dat betekent dan ook dat 40% van de tijd elektriciteit goedkoop geleverd wordt door volatiele bronnen. Als (energie-intensieve) processen hierop afgestemd kunnen worden, zou in theorie (uiteraard niet overal, tegelijkertijd) het gros van deze processen met goedkope elektriciteit kunnen plaatsvinden. Dit is voor de chemische industrie een grote kans om zowel haar kostenefficiëntie sterk te verbeteren als ook flink te verduurzamen. De industrie zelf zou dit ook kunnen versnellen door zelf bij te dragen aan de realisatie van windmolenparken, zonnepanelen en -weides. De industrie heeft namelijk voor het grootste deel een uitstekende locatie, aan de kust, in Zeeland, Zuid-Holland en Groningen. Bovendien is het vanuit concurrentieperspectief wellicht zelfs gevaarlijk om niet in te zetten op flexvermogen, omdat dat een enorme verlaging van running costs kan betekenen - een verlaging die lastig op een andere wijze te compenseren is.

Dit is een factor die speelt binnen Nederland, maar ook geldt voor de concurrentiepositie vanuit een internationaal perspectief, met bijvoorbeeld de Amerikaanse chemische industrie. Deze draait momenteel voor een groot deel op zeer goedkoop aardgas à ruim 6 euro per MWh, waarmee de Nederlandse industrie met een geprojecteerde prijs van 24 euro per

¹⁰⁹ Zie het ETM scenario op <https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/282929>

MWh moeilijk kan concurreren^{110 111}. De Amerikaanse chemische industrie zou op haar beurt wellicht lastig met een Nederlandse industrie kunnen wedijveren die grotendeels draait op goedkope duurzame elektriciteit.

Discussie

Het is duidelijk dat een volledige biobased economy niet het klimaatvriendelijkste streefbeeld is, maar dat het beter is om in te zetten op een economie met een intelligente, recyclebare, energie-efficiënte mix van biobased en petrobased grondstoffen. Het is lastig te kwantificeren wat de impact van het verstandiger inzetten van grondstoffen is. Naar een ruwe schatting van Quintel in de [tekstbox](#) is een besparing van 4 PJ non-energetisch gebruik (op 502 PJ) en 10 PJ energetisch gebruik op 248 PJ mogelijk.

Eerder zagen we dat er 248 PJ aan energetisch gebruik en 502 PJ aan non-energetisch gebruik in de chemische industrie resteert. Door slimme inzet is zowel die laatste waarde (hogere product yield) als die eerste waarde (minder energie-intensiteit per unit geleverd product) lager geworden. Hierbij zal waarschijnlijk een groot deel van het fossiel grondstofgebruik nog overblijven. Dit totaal van 502 PJ non-energetisch gebruik zal afnemen tot 498 PJ, 157 PJ biobased en 341 PJ fossil-based. Deze getallen berusten op speculatie en een zeer grove inschatting. Plastics, qua volume een van de grootste afzetproducten, zijn voor 65-85% koolwaterstoffen zondere functionele groepen¹¹². Het energetisch gebruik van 248 PJ kan naar verwachting afnemen tot 238 PJ, doordat energie-intensieve stappen overgeslagen kunnen worden. Dit getal is een zeer ruwe schatting van Quintel, die nog niet onderbouwd kan worden met externe literatuur.

Door daarnaast overschotten met flexvermogen nuttig te gebruiken, kan in theorie tientallen PJ in eigen energiegebruik opgevangen worden. Hierbij postuleert Quintel dat 20 PJ van de 248 PJ die de chemische sector nu nodig heeft kan worden overgezet op duurzame elektriciteit. Ook dit is een Quintel analyse die verdere onderbouwing vraagt.

¹¹⁰ EIA (2016): Natural gas weekly update.

¹¹¹ PWC (2015): Gasprijzen in de mineralogische en metallurgische industrie: een internationale vergelijking. p.5

¹¹² PlasticsEurope (2013): Plastics the Facts. 2013. p.15.

Klimaatkans 5: De papierindustrie en meermalige verpakkingen

In de inleiding van dit rapport werd reeds aandacht besteed aan de gevolgen die digitalisering voor PostNL gehad hebben. In dit hoofdstuk worden de gevolgen van die digitalisering op de papierindustrie behandeld: bij een gelijkblijvende daling van 10% per jaar neemt de consumptie en daarmee productie van grafisch papier af van 0.8 Mton nu tot 0.15 Mton in 2030. Daarnaast is er nog sprake van een andere trend die betrekking heeft op kartonnen verpakkingen. De karton industrie recyclet momenteel een groot deel van haar materiaal, wat vanuit grondstof oogpunt een goed idee is. Echter worden de verpakkingen die deze industrie maakt gedurende hun levenscyclus slechts 1 maal gebruikt (en daarna gerecycled), wat vanuit energetisch oogpunt een minder goed idee is. Nu komen er vanuit de chemische industrie nieuwe initiatieven tot meermalige verpakkingen, die zowel recyclebaar zijn als lagere energiekosten per keer gebruik hebben. Met 20 maal lagere energiekosten per gebruik kunnen deze nieuwe verpakkingen de traditionele kartonnen dozen doen verdwijnen en daarmee 0.86 Mton afzet wegnemen. Samen kunnen deze twee trends leiden tot een krimp in de Nederlandse papier- en kartonindustrie van 40% op massabasis.



Context

De vraag naar grafisch papier daalt met meer dan 10% per jaar voornamelijk als gevolg van digitalisering van media

Nederland kent een vrij grote papierindustrie. Als land produceren we ongeveer evenveel als we gebruiken aan papier (zie [tekstbox](#)). Bijna 2/3 van de afzet betreft verpakking en bijna 1/3 grafisch papier. De digitalisering van onze samenleving heeft niet enkel een effect gehad op PostNL, maar heeft uiteraard ook de papierindustrie daarachter geraakt: de vraag naar grafisch papier is de afgelopen jaren met ongeveer 10% per jaar gedaald (zie [tekstbox](#)).

De papierindustrie kende in 2014 een afzet van 2.8 Mton, waarvan 80% export was¹¹³. Op gewichtsbasis was van de afzet 62% verpakking, 4% hygiëne en 34% grafisch papier¹¹⁴. In 2010 werd 71% van de verpakking, 59% van de hygiëne en 84% van het grafische papier geëxporteerd¹¹⁵. De papier- en karton consumptie in Nederland in 2014 lag met 3.0 Mton iets hoger dan de productie¹¹⁶. Daarvan werd 80% ingezameld en 74% gerecycled.

¹¹³ VNP (2015): Afzet verdeeld naar binnenlandse afzet en en export.

¹¹⁴ VNP (2015): Afzet verdeeld naar soorten papier en karton.

¹¹⁵ VNP (2011): Routekaart Nederlandse papier- en kartonindustrie.

¹¹⁶ VNP (2015): Consumptie, inzameling en recycling van papier en karton.

De vraag naar grafisch papier is door de jaren heen sterk gedaald. De omzet van de Nederlandse grafische industrie was in 2015 nog slechts 64% van de omzet in 2010¹¹⁷. De Nederlandse omzet van grafisch papier is daarmee nog meer dan die van haar buurlanden gedaald. Niet alleen de productie, maar ook de consumptie van papier is verminderd: in heel Europa is de verwerking van grafisch papier gekelderd van 43 Mton in het piekjaar 2007 naar 31 Mton in 2013¹¹⁸. In de maand november 2015 bedroeg de Europese consumptie van grafisch papier ongeveer 2.3 Mton¹¹⁹; dit was in de maand oktober 2013 nog 2.9 Mton¹²⁰. Dit staat gelijk aan een consumptiedaling van meer dan 10% per jaar.

De productie van karton groeit juist met meer dan 3% per jaar in Nederland

Deze digitalisering heeft anderzijds ook een positief effect op de papierindustrie: de productie van karton als verpakkingsmateriaal neemt juist toe. Dit komt met name door het feit dat mensen steeds meer online kopen en de bestelde producten thuis laten bezorgen. In een onderzoek onder ruim 6,000 mensen bleek dat 80% van de online bestellingen bezorgd werd, 11% gedownload werd en 9% opgehaald werd¹²¹. Tegelijkertijd nam het aantal online aankopen toe met gemiddeld bijna 14% per jaar van 2010 tot en met 2014¹²². Het is daarmee duidelijk dat op basis van de vraag naar pakketleveringen de productie van karton groeit en waarschijnlijk gezien de trends verder zal groeien. In totaal bedraagt de groei van de papier- en kartonindustrie ten gevolge van deze toename in online bestellingen en bezorgingen ongeveer 3% per jaar (zie *tekstbox*).

*Hieronder volgt een korte berekening wat de groei van e-commerce voor gevolgen heeft op de ontwikkeling van de papierindustrie. Laten we aannemen dat alle verzonden artikelen in karton verpakt zijn en de pakketten gemiddeld ongeveer even groot zijn. Als we enkel letten op het kartonverbruik van e-commerce, dan zou dat bij een toename aan bestellingen van 14% per jaar bij 80% bezorging groeien met $14\% / \text{jaar} * 0.8 = 11\% / \text{jaar}$. Laten we kort bekijken hoe dat in elkaar steekt voor de hele verpakkingsindustrie, aangezien e-commerce slechts een deel daarvan uitmaakt. In 2011 werd 1.65 Mton verpakkingskarton verbruikt¹²³. In 2013 was dat 1.74 Mton¹²⁴, wat overeenkomt met een toename van bijna 3% per jaar. Dit percentage ligt waarschijnlijk inmiddels hoger, omdat de toename van het aantal online aankopen door de jaren heen ook toeneemt.*

¹¹⁷ Intergraf (November 2015): Economic News.

¹¹⁸ KVGO (2014): Nederlandse grafische wereld blijft harde klappen incasseren.

¹¹⁹ Intergraf (2015): Economic News.

¹²⁰ Intergraf (2014): Economic News.

¹²¹ Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (2014): Van Aankoop tot Zending: Webwinkelen en mobiliteit.

¹²² Thuiswinkel Markt Monitor (2015): Cijfers Thuiswinkel Markt Monitor 2010-2014.

¹²³ Probos (2013): Duurzaam geproduceerd hout op de Nederlandse markt in 2011. p.37

¹²⁴ Kenniscentrum Papier en Karton (2014): Van Gras naar Papier.

Trend

Het is denkbaar dat we afstappen van het verpakken van spullen die we bestellen op internet in grote hoeveelheden karton

De vraag is echter of de verpakkingsmateriaalvraag vanuit de e-commerce ingevuld zal blijven worden door de papier- en kartonindustrie. In het verleden zijn er reeds diverse overstappen qua verpakking gemaakt. In de logistiek is men overgeschakeld van stukgoederen transport naar containervervoer. Voor groente en fruit is men overgestapt van dozen naar plastic krapkratten. Hierdoor liepen minder producten schade op tijdens transport en ontstond er een inwisselbaar systeem. In een vergelijkende studie over transport van tien verschillende soorten groenten en fruit bleek dat transport middels herbruikbare plastic containers 80% minder vast afval genereerde en 50% minder energie benodigde dan transport via display-ready kartonnen dozen¹²⁵. Het is niet ondenkbaar dat in de toekomst ook andere producten vervoerd worden in meermalig bruikbare verpakkingen, vooral met het oog op een toename van bestellingen.

Binnen de e-commerce wordt er reeds op kleine schaal gebruik gemaakt van reusable packaging. In Finland heeft een startup het RePack systeem geïmplementeerd¹²⁶: tegen een kleine borg kunnen consumenten hun producten laten bezorgen in meermalige plastic verpakkingen. Bij aankomst kan de meermalige verpakking opgevouwen worden en eenvoudig (kosteloos) per post teruggestuurd worden, waarna de consumenten hun borg terugkrijgen of een cadeaubon ontvangen. Niet alleen scheelt dit uiteraard in papierconsumptie, maar ook worden ketens gesloten: er blijven geen lege dozen achter bij consumenten en het scheelt distributiecentra sterk aan ruimte - en, uiteindelijk, waarschijnlijk ook aan kosten. De optie tot bezorging per meermalige verpakking wordt in 15 Finse webwinkels aangeboden en deze service wordt door consumenten beoordeeld met gemiddeld een 9.5 uit 10¹²⁷. Voor de webwinkels is het ook interessant: deelnemende winkels rapporteerden een verhoogde tevredenheid en een toename van return sales tot 30%¹²⁸. Verder leidt het in sommige gevallen ook tot een fors lagere inpaktijd: Isku, de grootste Finse meubelfabrikant, zag haar inpaktijd slinken van 16 minuten tot 2 minuten¹²⁹. Een meermalige verpakking gaat momenteel zo'n 20 cycles mee¹³⁰. In Nederland worden ook herbruikbare verpakkingen van RePack aangeboden via Docdata¹³¹.

Dit is niet het enige voorbeeld van bestaande reusable packaging. Office Depot, een Amerikaanse keten in kantoorartikelen met een miljardenomzet, biedt nu de GreenerOffice Delivery Service aan¹³². Hierbij worden bestellingen niet in dozen (opgevuld met plastic luchtkussentjes) vervoerd, maar in papieren tasjes die veilig in herbruikbare plastic kratten

¹²⁵ MMH (2013): Reusable plastic containers show benefits over one-way corrugated boxes in new life cycle study.

¹²⁶ Ecommerce News Europe (2014): RePack: reusable packaging for online retailers.

¹²⁷ Packaging Digest (2016): Click, buy, RePack: How Finland's reusable packaging works.

¹²⁸ NorwegianAir (2015): Will these guys eliminate postal waste forever?

¹²⁹ Goodnewsfinland (2014): Finnish innovation creates trash-free deliveries.

¹³⁰ Repack (2016): My figures.

¹³¹ Docdata (2014): Docdata biedt herbruikbare verpakkingen aan van RePack.

¹³² Office Depot (2016): Office Depot GreenerOffice Delivery Service.

zitten. De eerste pilot was zeer succesvol (96% van de gebruikers bleef de service gebruiken) en nu wordt deze bezorgservice nationaal aangeboden. Een analyse die Office Depots traditionele en GreenerOffice bezorgservice vergelijkt, lijkt aan te tonen dat meermalige verpakkingen niet alleen de hoeveelheid afval, maar ook kosten flink kunnen reduceren¹³³.

Dit laatste voorbeeld maakt nog deels gebruik van papier ten behoeve van verpakking, omdat producten van verschillende groottes in kratten van een vast formaat vervoerd worden. Bij RePack is de verpakking aangepast op het type product en bovendien flexibel. Ook is het gemaakt van geweven polypropreen (PP), dat goed recyclebaar is. RePack verpakkingsmateriaal lijkt dus op basis van deze informatie een goede kandidaat vervanger van kartonnen dozen als verpakkingsmateriaal.

Meermalige verpakkingen à la Repack vragen om lagere energiekosten per gebruik dan enkelvoudige kartonnen pakken, juist door het veelvuldige gebruik.

Om te weten of RePack verpakkingsmateriaal ook op energiebasis interessant is, volgen in dit hoofdstuk een aantal vergelijkende berekeningen. Bij verpakkingsmateriaal is niet zozeer gewicht, maar met name oppervlakte van belang: het gaat immers om het verpakken en beschermen van een product. De energiekosten van de productie van een typische vierkante meter verpakkingsmateriaal bedragen 3.6 MJ / m² voor RePack materiaal en 3.5 MJ / m² voor kartonnen dozen (zie *tekstbox*).

*Voor het produceren van 1 kg aan 100% virgin PP verpakking is 35.5 MJ nodig¹³⁴; voor 1 kg aan voor 82% gerecyclede dozen 6.2 MJ¹³⁵. Echter gaat het bij transport in eerste instantie om volume en daarmee de oppervlakte van het verpakkingsmateriaal, niet het gewicht daarvan. Hierbij doen we dan de aanname dat de benodigde oppervlakte verpakkingsmateriaal om een bepaald object te verpakken gelijk is voor karton en PP. De ongeweven PP tas heeft een dichtheid van 100 g / m²¹³⁶; een kartonnen doos daarentegen heeft een dichtheid van 560 g / m²¹³⁷. Als we de energiekosten uitdrukken per oppervlakte (ready) verpakkingsmateriaal, bedragen die 6.2 MJ / kg * 0.56 kg / m² = 3.5 MJ / m² kartonnen doos (uit 88% gerecycled materiaal) en 35.5 MJ / kg * 0.1 kg / m² = 3.6 MJ / m² PP verpakking (uit 0% gerecycled materiaal). De energiekosten per oppervlak bedragen dus 3.5 MJ / m² en 3.6 MJ / m², respectievelijk.*

¹³³ Whiffen, Lindsay (2012): Cardboard boxes vs. Reusable plastic containers - Office Depot green solution.

¹³⁴ Zie appendix 2

¹³⁵ FEFCO (2015): European Database for Corrugated Board Life Cycle Studies. P. 31.

¹³⁶ Hong Kong Polytechnic University (2012): Carbon Footprint of Production Processes of Polypropylene Nonwoven Shopping Bags. p.13.

¹³⁷ FEFCO (2015): European Database for Corrugated Board Life Cycle Studies. P. 31.

Als we echter ook het herbruikbare aspect van de PP tas meenemen met de aanname dat de RePack (minstens) 20 keer gebruikt wordt, zijn de energetische kosten $3.6 \text{ MJ} / \text{m}^2 / 20 = 0.18 \text{ MJ} / \text{m}^2$. Aangezien deze tassen tot wel 50 keer gebruikt kunnen worden en bovendien recyclebaar zijn, waarmee de energetisch grootste stap overgeslagen kan worden, liggen deze kosten in de praktijk waarschijnlijk nog lager. Dit betekent dat het over de hele levensduur op basis van energiegebruik zelfs zonder te recyclen veel beter is meermalige verpakkingen à la RePack te gebruiken. Volgens RePack wordt bovendien 96% van de RePack verpakkingen geretourneerd¹³⁸.

Op basis van de enthousiaste ontvangst bij zowel bedrijven als consumenten en dit grote energetische voordeel lijkt er veel potentie voor grootschalige uitbreiding van het RePack concept. De vraag is echter of en zo ja, hoe dit kan gebeuren. Het is niet onvoorstelbaar dat als een grote internetwinkel als bol.com RePack verpakkingen aan gaat bieden met een incentive (voucher), veel mensen hier gebruik van gaan maken en veel webwinkels zullen volgen.

Impact

Er zijn twee trends gaande: de sterke afname van de vraag naar grafisch papier en de opkomst van meermalige verpakkingen. Laten we eerst bij dat eerste stilstaan. Eerder zagen we dat de consumptie van grafisch papier binnen Europa de laatste jaren met gemiddeld 10% per jaar gedaald is. Als die daling constant blijft, reduceert de afzet binnen Europa van 0.79 Mton in 2014 tot 0.15 Mton in 2030 en tot 0.02 Mton in 2050¹³⁹. Als we efficiëntieverbeteringen en andere effecten buiten beschouwing laten, bedraagt het energiegebruik voor de productie van grafisch papier dan respectievelijk 1.0 PJ en 0.14 PJ (nu 6.6 PJ).

Als daarnaast een integraal opgezet Europees meermalig verpakkingssysteem ontstaat en men overstapt op meermalige verpakkingen, zal het totale energiegebruik nog veel meer dalen, aangezien men dan geen karton als verpakkingsmateriaal meer behoeft. Volgens onze analyse in Nederland wordt 5.3 PJ verbruikt voor de productie van 0.86 Mton karton als verpakkingsmateriaal¹⁴⁰. Dit zou vervangen kunnen worden door meermalige verpakkingen à la RePack, die (minstens) 20 maal gebruikt worden. Als dat voor de hele afzetmarkt van de Nederlandse kartonproductie gedaan wordt, zou er bij gelijke vraag in de chemische industrie slechts 0.27 PJ aan energie en 0.19 PJ aan grondstoffen nodig zijn om in eenzelfde verpakkingsbehoefte te voorzien (zie [tekstbox](#)). Als gevolg van deze ontwikkelingen produceert de papier- en karton industrie dan geen 2.8 Mton papier en karton, maar ongeveer 1.2 Mton in 2030 en 1.0 Mton in 2050 - een krimp van 40%.

¹³⁸ NorwegianAir (2015): Will these guys eliminate postal waste forever?

¹³⁹ Zie appendix 2

¹⁴⁰ Zie appendix 2

De papier- en kartonindustrie verbruikt in 2014 23.6 PJ¹⁴¹ om 3.0 Mton product te vervaardigen, waarvan 1.9 Mton verpakking, 1 Mton grafisch papier en 0.1 Mton hygiëne. De productie van grafisch papier kostte ongeveer 6.6 PJ¹⁴². In 2013 werd 1.9 Mton verpakkingsmateriaal geproduceerd: dit bestaat uit golfkarton, massief karton en vouwkarton. Golfkarton en massiefkarton zijn feitelijk de transportverpakking; vouwkarton de productverpakking. Als de huidige 0.86 Mton golfkartonnen verpakkingen vervangen worden worden door RePack verpakkingen, is daarvoor slechts 0.08 Mton nodig om eenzelfde hoeveelheid materiaal te verpakken¹⁴³. Daarvoor is dan bij gemiddeld 20 keer recyclen slechts 0.27 PJ in plaats van 5.3 PJ nodig¹⁴⁴. Als grondstof is dan wel 0.19 PJ aan aardolieproducten nodig, maar dat leidt over de hele linie alsnog tot een grote energiebesparing¹⁴⁵. Met een groei van 3% per jaar zou deze energievraag in de chemische industrie in 2030 0.43 PJ brandstof en 0.3 PJ grondstof en in 2050 0.78 PJ en 0.55 PJ bedragen.

¹⁴¹ RVO (2015): MEE-Sectorrapport Papier- en Kartonindustrie 2014. p.1.

¹⁴² Zie appendix 2

¹⁴³ Zie appendix 2

¹⁴⁴ Zie appendix 2

¹⁴⁵ Zie appendix 2

Klimaatkans 6: Dierlijk eiwit en plantaardig eiwit

Zonder kunstmest (zie ook klimaatkans 3) zou onze aarde genoeg cultuurgrond bieden om 3 miljard mensen in hun levensbehoefte te voorzien¹⁴⁶. Inmiddels hanteert men met hulp van kunstmest en andere vormen van geo-engineering een instabiele 'stikstofbalans'¹⁴⁷ waardoor 7 miljard mensen kunnen worden gevoed. Daarbij is overigens een deel ondervoed, lijdt een deel honger en is een ander deel overvoed. De prognose is dat het aantal mensen zal groeien tot 9.7 miljard in 2050 en dat de helft van deze groei in Afrika plaatsvindt¹⁴⁸. Tegelijkertijd voeden veel Westerse mensen zich met ongezond voedsel en onnodig grote hoeveelheden eiwitten. Tegelijkertijd houden meer mensen zich bezig met bewuste voeding en nemen daardoor gezondere eetpatronen aan; ook bij de politiek staat dit op de kaart. Als deze trend naar gezonde voeding en de transitie naar plantaardige voeding zich doorzet, heeft dat een grote impact op met name de vleesindustrie. Deze industrie krimpt met ongeveer 50%, als de gemiddelde Nederlander een gezond eetpatroon aanneemt, waarin de eiwitbehoefte nog steeds vervuld wordt met hoofdzakelijk vlees.



Context

De uitdaging is om bijna 10 miljard mensen in 2050 van gezond, veilig en voedzaam voedsel en onvervuild drinkwater te voorzien

We staan voor de uitdaging om bijna 10 miljard mensen veilig en voedzaam voedsel (en onvervuild drinkwater) te verschaffen - een ambitie die in 2015 niet waargemaakt wordt voor de huidige 7.3 miljard mensen. Als de wereldpopulatie nog met $\frac{1}{3}$ groeit, met name in gebieden waar de voedselvoorziening reeds slecht is, wordt de urgentie steeds groter om onze voedselsystemen te veranderen om mensen in hun noodzakelijke levensbehoeften te voorzien.

De gemiddelde mens heeft een energiebehoefte van 2,250 kcal per dag en behoeft daarnaast bepaalde stoffen in afgestemde hoeveelheden, waaronder 9 essentiële aminozuren en vitamines

Het lijkt in een eerste instantie wellicht overbodig, maar het is zeker nuttig om even stil te staan bij de essentie van voeding. Voeding verzadigt aan de ene kant een energiebehoefte: ons lichaam consumeert de chemische energie die in het voedsel zit en slaat deze deels op. Deze chemische energie wordt verbruikt door ons lichaam om adem te halen, om te denken, om te bewegen - kortweg, het stelt ons in staat te functioneren.

Voedsel is echter meer dan energie: het is namelijk mogelijk onze energiebehoefte te verzadigen met fastfood zoals dat nu vrijwillig door velen gedaan wordt of deze uitsluitend te

¹⁴⁶ Volkskrant (2014): Eet meer plant. p.42

¹⁴⁷ Oliver Morton (2015): The Planet Remade. 7. Nitrogen

¹⁴⁸ United Nations (2015): World population projected to reach 9.7 billion in 2050.

verzadigen met aardappels zoals dat in de Tweede Wereldoorlog onvrijwillig door velen gedaan werd. Maar beide is op den duur niet gezond. Er is namelijk ook een voedingsbehoefte: een behoefte aan stoffen die ons lichaam nodig heeft om goed of langer te functioneren. Sommige stoffen kan het lichaam niet zelf aan maken; hieronder vallen onder andere vitamines en de 9 essentiële aminozuren.

Tot slot is er nog een afstemmingsbehoefte: het is doorgaans het beste als de vraag van ons lichaam naar bepaalde stoffen ongeveer in overeenstemming is met onze consumptie daarvan. Als ons lichaam minder binnen krijgt dan het nodig heeft, kan het een tekort aan een bepaalde stof oplopen met alle gezondheidsproblemen die daar bij horen. Maar het lichaam kan ook teveel van een bepaalde stof binnen te krijgen en slaat het daarom soms op (e.g. koolhydraten/vetten) of loost het via de ontlasting (e.g. vitamine C).

De Nederlander eet teveel eiwit in de vorm van vlees

Nederlanders krijgen veel van hun eiwitbehoefte binnen in de vorm van vlees. De Nederlandse jaarlijkse vleesconsumptie droge stof (ds) per persoon is weergegeven in tabel 4.

	Huidige consumptie (kg/cap/jaar) (karkasgewicht)	Gezond eetpatroon (kg/cap/jaar) (karkasgewicht)	Klimaatteffect totaal huidige consumptie (Mton CO ₂ -eq./Nederland/jaar)
Rundvlees	19,2	11,8	5,5
Varkensvlees	41,8	28,1	8,9
Gevogelte	24,6	14,4	1,8
Schape-, geiten- en paardenvlees	2,4	3,0	0,4
Eieren	11,6	9,0	0,9
Melk	60,0	57,3	1,2
Kaas	20,7	13,8	2,9
Totaal	180,3	137,4	16,6

Bron: gebaseerd op LEI en CE, 2012.

Tabel 4: Jaarlijkse consumptie van vlees, eieren en zuivel per persoon en aangeraden hoeveelheden.¹⁴⁹

Al met al eet de Nederlander gemiddeld ruim 50% meer vlees dan als in het gezonde eetpatroon voorgeschreven wordt. Dat heeft ook consequenties voor de gezondheid. Er zijn twee klassieke onderscheiden die gemaakt worden voor vlees: rood vlees (van zoogdieren) en wit vlees (van gevogelte), onbewerkt vlees (gesneden en/of gekoeld) en bewerkt vlees (verdere bewerkingen)¹⁵⁰. Met name voor de categorieën 'rood vlees' en 'bewerkt vlees' is een correlatie aangetoond tussen consumptieniveaus en de kans op daaruit voortvloeiende ziektes. Hoge consumptie van rood vlees verhoogt de kans op beroertes, diabetes en bepaalde vormen van kanker; hetzelfde geldt voor hoge consumptie van bewerkt vlees (zie tabel)¹⁵¹. De gemiddelde vleesconsumptie van mannen over de periode 2007-2010

¹⁴⁹ CE Delft (2012): Milieueffecten van verbeteropties van de Nederlandse eiwitconsumptie. p.12

¹⁵⁰ Gezondheidsraad (2015): Richtlijnen Goede Voeding 2015. p.29-31

¹⁵¹ Gezondheidsraad (2015): Richtlijnen Goede Voeding 2015. p.29-31

overschreed met 123 g per dag rood vlees en 53 g per dag bewerkt vlees reeds de risiconiveaus¹⁵².

Tabel 2 Conclusies uit achtergronddocument die leidend zijn voor de richtlijn over vlees

Vlees	Cohortonderzoeken			
	Beroerte	Diabetes	Darmkanker	Longkanker
Totaal rood vlees	100-120 g/d +10%	100 g/d +15%	100 g/d +10%	100-120 g/d +20%
Onbewerkt rood vlees	100-120 g/d +10%	100 g/d +15%		
Bewerkt vlees	50 g/d +10%	50 g/d +20%	50 g/d +15%	

|||| ongunstig verband

Tabel 5: Overzicht van de risico's ten gevolge van de consumptie van bepaalde typen vlees.

De gevolgen van deze vleesconsumptie en levensstijl op energiegebruik, landgebruik en CO₂-uitstoot zijn groot

De hele veehouderij ten behoeve van deze te grote vleesconsumptie heeft daarnaast een grote impact op het milieu. Tabel 6 uit een onderzoek van CE Delft laat zien dat de huidige vleesconsumptie goed is voor 8% van de Nederlandse CO₂-uitstoot en 76% van het landgebruik, tegenover 10% en 87% voor de huidige consumptie van dierlijk eiwit. Als kanttekening bij het landgebruik moet wel vermeld worden dat een deel van het Nederlands landbouwareaal niet geschikt is voor een andere invulling dan grasteelt. In het hoofdstuk over grasraffinage en de veevoederindustrie wordt meer aandacht besteed aan het gebruik van gras.

Milieuthema	Vlees	Vlees, eieren en zuivel	Vergelijking
Klimaat	16,6 Mton CO ₂ -eq.	21,5 Mton CO ₂ -eq.	- 10% van totale Nederlandse uitstoot, ongeveer gelijk aan personenautoverkeer
Landgebruik	25.489 km ²	29.185 km ²	-87% van de oppervlakte van Nederland
Verzuring	262 kton SO ₂ -eq.	311 kton SO ₂ -eq.	-26% van de totale Nederlandse emissie
Vermesting	3,1 kton P _{eq} .	4,2 kton P _{eq} .	-68% van de Nederlandse emissie naar oppervlaktewater
Biodiversiteit	1.560 species.year	1.774 species.year	62% van het gemiddelde per Europeaan voor de totale consumptie

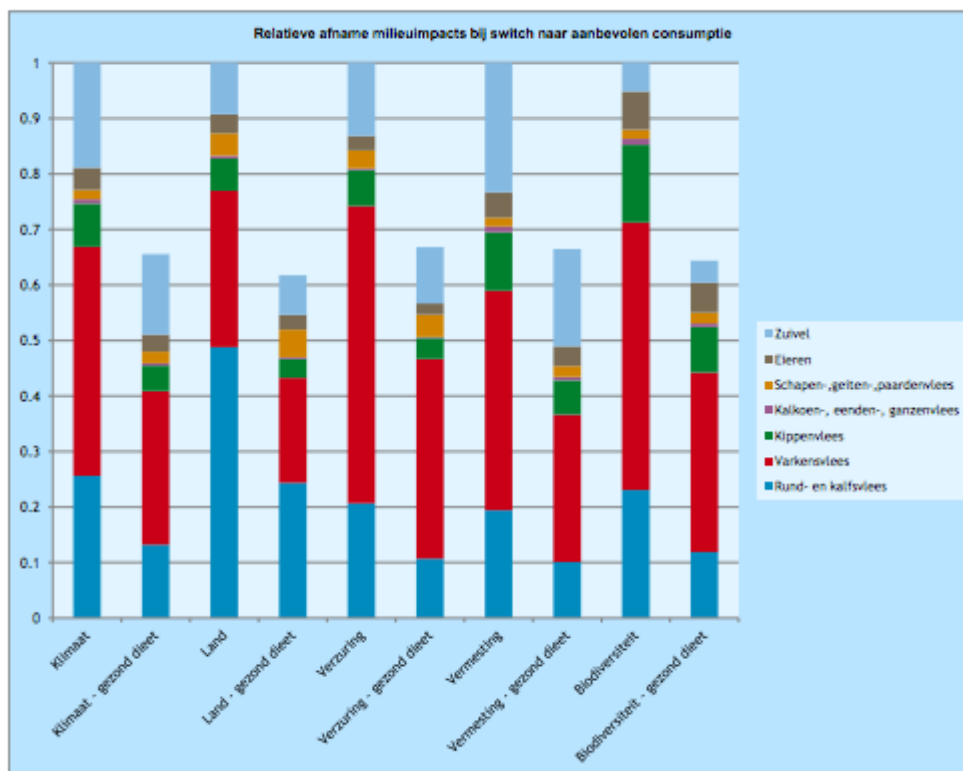
Bron: CE, 2012.

Tabel 6 Milieu-impact van de Nederlandse consumptie van vlees en die van al het dierlijk eiwit.¹⁵³

¹⁵² Gezondheidsraad (2015): Vlees. Achtergronddocument bij Richtlijnen Goede Voeding 2015. p.5

¹⁵³ CE Delft (2012): Milieueffecten van verbeteropties van de Nederlandse eiwitconsumptie. p.12

Deze voetdruk zou reeds fors verlaagd kunnen worden door onze vleesconsumptie te verlagen naar een gezonder niveau. Dit zou bijvoorbeeld de CO₂-uitstoot met meer dan 1/3 naar beneden brengen, blijktens het CE Delft onderzoek (zie figuur 9).



Bron: LEI en CE, 2012.

Figuur 12: De relatieve afname van de milieu-impact bij een switch naar gezonde hoeveelheden dierlijk eiwit.¹⁵⁴

Maar buiten de impact op het milieu, kost het ook veel meer energie om dierlijk eiwit te produceren dan plantaardig eiwit. Voor het produceren van 1 kg ds dierlijk eiwit is gemiddeld 6 kg ds plantaardig eiwit nodig¹⁵⁵. Wereldwijd wordt 40% van de graanoogst en 70% van de soja gebruikt als veevoer¹⁵⁶. Indien dit niet allemaal als veevoer zou eindigen, komt een groot deel van onze oogst vrij als potentieel voedsel voor mensen. Daar kunnen bovendien dan in theorie door een hogere eiwittefficiëntie (plantaardig eiwit naar plantaardig eiwit) een veelvoud van de mensen mee gevoed worden. De belangrijkste componenten binnen dit plantaardig eiwit zijn de essentiële aminozuren en de (mate van) aanwezigheid hiervan verschilt per plant.

¹⁵⁴ CE Delft (2012): Milieueffecten van verbeteropties van de Nederlandse eiwitconsumptie. p.15

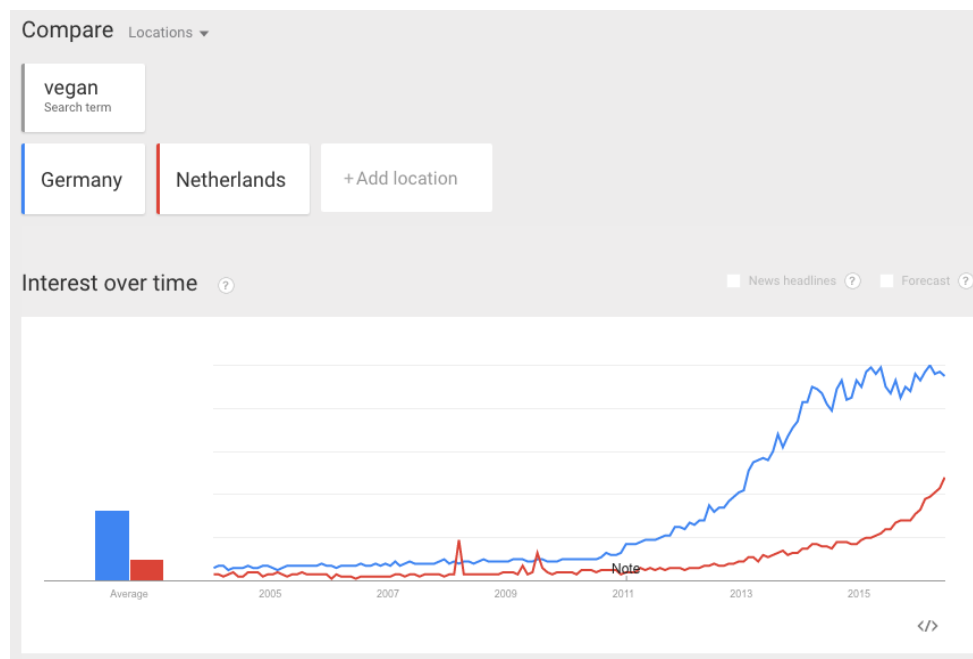
¹⁵⁵ Volkskrant (2014): Eet meer plant. p.43

¹⁵⁶ Volkskrant (2014): Eet meer plant. p.43

Trend

De interesse in gezond, vegetarisch en veganistisch eten als geuit in zoektermen op Google neemt steeds meer toe

Voor een transitie naar een consumptie van efficiënt dierlijk en plantaardig eiwit draait het natuurlijk uiteindelijk om de gemiddelde Nederlander en hoe diegene zijn of haar maaltijden inricht. Het lijkt erop dat Nederlanders dat steeds bewuster doen, op basis van de interesse die zij uiten in hun zoektermen op Google. Google Trends maakt het mogelijk de relatieve populariteit (intensiteit) van zoektermen binnen een bepaalde periode en binnen een land te vergelijken. Een voorbeeld van een dergelijke zoekterm is 'vegan' en is te zien in de volgende figuur.



Figuur 13: Google Trends vergelijking tussen de intensiteit van de zoekterm 'vegan' in Duitsland en Nederland vanaf 2006

Het is duidelijk te zien dat er een zeer sterke, bijna exponentiële stijging in het aantal zoektermen 'vegan' is. Vergelijkbare stijgende grafieken zijn te zien voor de zoektermen 'gezond', 'gezonder eten', 'vegetarisch', 'groente', 'fruit', 'vitamine', 'avocado', 'linzen' en 'volkoren'. Dit zijn allemaal zoektermen waarvan de intensiteit sinds 2011 verveelvoudigd is. Het lijkt daarom veilig om te stellen dat de belangstelling voor een gezonde levensstijl en de plek die voeding daarin heeft, door de jaren heen toegenomen is en waarschijnlijk nog verder zal toenemen.

De vleesconsumptie zou teruggebracht kunnen worden door heffingen, langdurige informatievoorziening en verkoopquota van plantaardige eiwitten

Het is één ding om vast te stellen dat het op veel manieren beter is als mensen minder vlees eten (iets wat al herhaaldelijk door anderen gedaan is), het is iets anders om ook ervoor te zorgen dat men minder vlees eet. CE Delft heeft onderzocht wat de effecten van

overheidsbeleid op de eiwittransitie zouden kunnen zijn. De eerste categorie zijn heffingen: een 21% BTW tarief op vlees, een vleestaks (vaste heffing per kg vlees) en accijnzen op eiwitproducten op basis van duurzaamheid¹⁵⁷. Een informatiecampagne die focust op het aspect van gezondheid en aan supermarkten opgelegde verkoopquota van plantaardige eiwitten (bijvoorbeeld door bijmenging van plantaardige eiwitten in vlees) zijn twee andere maatregelen die hieraan kunnen bijdragen. Volgens CE Delft verminderen alle vijf maatregelen afzonderlijk de CO₂-uitstoot met tussen de 11% en 13%¹⁵⁸. Door een combinatie van maatregelen is waarschijnlijk nog meer te bereiken. Verder is er überhaupt veel potentieel, aangezien de overheid zich binnen het gebied van milieu weinig met voedsel beziggehouden heeft. Naar aanleiding van het rapport “Naar een voedselbeleid”¹⁵⁹, is het onderwerp door onze minister van Volksgezondheid in de vorm van een ‘Voedselagenda’ in 2015 op de politieke kaart gezet¹⁶⁰.

De verminderde vraag naar vlees kan deels ingevuld worden door ander, efficiënter vlees en plantaardige eiwitproducten

Een manier waarop de milieu impact van de Nederlandse eiwitconsumptie verlaagd kan worden naast het consumeren van gezondere hoeveelheden vlees, is het consumeren van gezondere en efficiëntere hoeveelheden vlees. Eerder zagen we dat het gemiddeld 6 kg ds plantaardig eiwit kost om 1 kg ds dierlijk eiwit te produceren. Dit is echter een gemiddelde: er is veel meer plantaardig eiwit nodig om 1 kg dierlijk eiwit uit rund te produceren dan uit bijvoorbeeld kip. Uit onderzoek van de Wageningen universiteit blijkt dat 26 kg ds aan plantaardig eiwit nodig is om 1 kg ds dierlijk eiwit uit rund te produceren¹⁶¹. Voor eenzelfde hoeveelheid dierlijk eiwit is voor vis 8 kg ds plantaardig eiwit nodig, voor varken 12 kg ds en voor kip en melk ruim 4 kg ds. Een overzicht van eiwit efficiëntie staat in tabel 7. Als we een deel van onze consumptie van rundvlees en varkensvlees kunnen vervangen door bijvoorbeeld kip en vis (en daarmee ook rood vlees vervangen door witvlees), dragen we bij aan dezelfde win-win-win-situatie zoals eerder beschreven.

Conversiefactor ¹	Vlees				Melk ²	Vis
	Rund	Varken	Kip	Gemiddeld		
Kg ds voer / kg groei	5,1	2,5	1,6	2,7	0,8	1,1
Kg ds voer / kg karkas	8,0	3,4	2,1	3,8	0,8	2,8
Kg re voer / kg re karkas	11,8	5,4	2,7	5,7	4,0	8,5
Kg re voer / kg re consumptie	25,6	11,9	4,3	8,4	4,5	8,0
Eiwitefficiëntie (%)	3,9	8,4	23,2	11,9	22,3	12,5

¹ ds = drogestof en re = ruw eiwit

² Voor de melkproductiekolom staan de termen groei en karkas voor geproduceerde kg melk

Tabel 7 Overzicht eiwit efficiëntie voor de omzetting van plantaardig eiwit tot dierlijk eiwit¹⁶²

¹⁵⁷ CE Delft (2012): Milieueffecten van verbeteropties van de Nederlandse eiwitconsumptie. p.25-6

¹⁵⁸ CE Delft (2012): Milieueffecten van verbeteropties van de Nederlandse eiwitconsumptie. p.38

¹⁵⁹ WRR (2014): Naar een voedselbeleid.

¹⁶⁰ Schippers, E.I. en Dijkma, A.M. [Ministerie van Economische Zaken] (2015): Voedselagenda voor veilig, gezond en duurzaam voedsel.

¹⁶¹ Wageningen Universiteit (2009): De humane eiwitbehoefte en eiwitconsumptie en de omzetting van plantaardig eiwit naar dierlijk eiwit. p.17-8

¹⁶² Wageningen Universiteit (2009): De humane eiwitbehoefte en eiwitconsumptie en de omzetting van plantaardig eiwit naar dierlijk eiwit. p.17-8

Buiten vlees vervangen door vlees met een hogere eiwit efficiëntie, zijn er eiwitrijke, plantaardige producten die vlees deels zouden kunnen vervangen. Peulvruchten, zoals bonen en linzen, blijken als eiwitrijke, plantaardige producten goede kandidaten, die ook in steeds meer voedseladviezen opduiken^{163 164}. Maar ook granen, paddestoelen, kiemen en noten zijn kandidaten. De plantaardige alternatieven worden populairder, maar vragen wel meer kennis van voedsel en koken dan de gemiddelde Nederlander momenteel lijkt te hebben¹⁶⁵.

Een andere, zeer eiwitrijke bron met eiwitpercentages van 40% tot 70% wordt op veel plekken behalve in de Westerse wereld gegeten: insecten¹⁶⁶. Onbekendheid is waarschijnlijk hier een van de voornaamste obstakels.

Algen en kweekvlees leveren op langere termijn wellicht een bijdrage aan de invulling van de eiwitbehoefte

Momenteel wordt er ook gewerkt aan nieuwe vormen van eiwitrijke voeding zoals algen en kweekvlees, die echter onzekere productiemethodes hebben en vooralsnog kosteninefficiënt zijn. Laten we met het eerste onderwerp beginnen. Micro-algen bestaan voor ongeveer 50% uit eiwitten¹⁶⁷. Micro-algen hebben daarnaast het voordeel dat zij niet per se concurreren met betrekking tot landgebruik. In theorie is een productie van 50 ton drooggewicht per hectare mogelijk, wat een conservatieve schatting lijkt; op dit moment kunnen algen op basis van kosten echter niet concurreren met soja¹⁶⁸.

Voor kweekvlees staan nog wat meer obstakels in de weg. Volgens Teixeira de Mattos, hoogleraar kwantitatieve microbiologie, duurt het zeker nog 15 jaar voordat kweekvlees (bestaande uit spierweefsel, vetweefsel en bloed) gegroeid kan worden in de juiste verhoudingen tot een lap vlees van een formaat dat nu gebruikelijk is¹⁶⁹. Een hierbij komende kwestie die daarnaast niet onderschat moet worden is de voeding van deze kweekcellen: dit kan de eiwit efficiëntie sterk negatief beïnvloeden. Ook lijkt de schaalbaarheid een nog onzekere zaak. Kweekvlees lijkt daarom een alternatief dat voorlopig geen bijdrage levert aan deze eiwittransitie.

¹⁶³ Gezondheidsraad (2015): Richtlijnen Goede Voeding 2015. p.11

¹⁶⁴ MilieuCentraal (2015): Richtlijnen Schijf van Vijf. p.15

¹⁶⁵ Wageningen Universiteit (2012): Nieuwe ontwikkelingsrichtingen voor verpakte groente- en fruitproducten. p.

¹⁶⁶ CLM (2010): De drijvende krachten achter het eiwit. Een krachtenanalyse van productie, consumptie en duurzaamheid wereldwijd. p.16

¹⁶⁷ Stichting Biowetenschappen en Maatschappij (2013): De groene belofte. Algen. p.22

¹⁶⁸ Stichting Biowetenschappen en Maatschappij (2013): De groene belofte. Algen. p.22

¹⁶⁹ Folia (2011): Vlees zonder bloedvergieten.

Er bestaan reeds vleesvervangers met een zeer vergelijkbare smaak als vlees, een acceptabele prijs en een zeer hoge eiwit efficiëntie

Voor veel mensen zullen plantaardige eiwitten gemakkelijker te accepteren zijn dan eiwit op basis van insecten, algen en kweekvlees. Noten, bonen, linzen en paddestoelen zijn meer gebruikelijk in onze voeding dan de andere opties. En dat vleesvervangers op basis van plantaardig eiwit snel populair kunnen worden, werd al bewezen door een Nederlandse ondernemer.

De Vegetarische Slager maakt plantaardig 'vlees' uit onder andere lupinebonen en soja dat echt lijkt op dierlijk vlees. Vanuit de gedachte dat plantaardig eten in vrijwel elk opzicht behalve smaak beter is dan vlees eten, trachtte Jaap Korteweg plantaardig "vlees" met de smaak van dierlijk vlees te maken¹⁷⁰. Dat is hem, op basis van de prijzen en enthousiaste reacties van zowel consumenten als topchefs, goed gelukt: het vegetarisch vlees van de Vegetarische Slager is soms niet of nauwelijks van echt te onderscheiden. De populariteit is groot: dit initiatief is gegroeid van 1 winkel in 2010 tot 2600 verkooppunten in 13 landen en een fabriek in 2015¹⁷¹.

Met consumentenprijzen vanaf 14 euro per kilogram¹⁷² is de Vegetarische Slager zeker prijziger dan het vlees dat het vervangt. De vleesindustrie profiteert echter van een gevestigde positie, die nu concurrentie krijgt van een kleine speler. Verdere opschaling van de Vegetarische Slager zou de consumentenprijs van hun producten kunnen doen dalen, wellicht bij voldoende populariteit uiteindelijk onder het niveau van het vlees dat het vervangt. Hun eiwit efficiëntie is daarnaast een veelvoud van dat van dierlijk eiwit (zie [tekstbox](#)).

*De productiemethode van de Vegetarische Slager is efficiënt: de Vegetarische Slager maakt uit 1 kg (onbekend of ds of niet) plantaardig materiaal 2 kg plantaardig vlees met een eiwitgehalte van gemiddeld ongeveer 20%¹⁷³ ¹⁷⁴ - waarmee de eiwit efficiëntie minimaal 40% is. Een kip maakt uit 1 kg ds plantaardig eiwit ongeveer 0.23 kg ds dierlijk eiwit; er bestaan reeds machines die het viervoudige uit dezelfde grondstoffen produceren¹⁷⁵. Daarmee komt de eiwit efficiëntie op $4 * 23\% / 1\text{ kg} = 92\%$ - enkele tot tientallen keren hoger dan de eiwit efficiënties in ketens van dierlijk eiwit.*

¹⁷⁰ Korteweg, Jaap (2012): Alleen 'lekker' kan dieren bevrijden uit de voedselketen.

¹⁷¹ De Vegetarische Slager (2016): Vegetarische Slager Fabriek.

¹⁷² Jumbo (2016) De Vegetarische Slager Rul Gehackt 200g.

¹⁷³ De Vegetarische Slager (2015): Heerlijk vlees van planten. p.2

¹⁷⁴ De Vegetarische Slager (2015): Producten.

¹⁷⁵ Kortweg, Jaap (2012): Vleeslobby in de stress door te goede vleesvervangers.

Impact

Met de komst van een voedselbeleid en de aanwezigheid van voldoende gewaardeerde plantaardige eiwitten kan er op korte termijn een grote stap in de eiwittransitie gemaakt worden

We kunnen met relatief weinig moeite en in relatief korte tijd een significant deel van onze consumptie van dierlijk eiwit vervangen door plantaardig eiwit. Enerzijds zijn er reeds beschikbare en gewaardeerde producten zoals die van de Vegetarische Slager, waarvan bovendien de productie verder opgeschaald kan worden. Aan de andere kant kan voedselbeleid van de overheid dat eind 2016 verwacht wordt op dit beleidstechnisch onontgonnen gebied zijn vruchten afwerpen. Deze combinatie lijkt de conclusie te rechtvaardigen dat we de komende tijd zowel een afname van de consumptie van vlees als een andere, meer plantaardige invulling van onze eiwitconsumptie kunnen prognostiseren. In de onderstaande tabel zijn een aantal van dergelijke verschuivingen meegenomen (indien zij plaatsvinden voor alle Nederlandse burgers).

Minder vlees biedt een win-win-win situatie: gezondere mensen, energiegebruik, CO₂-uitstoot en landgebruik verminderen en land en oogsten vrijmaken voor andere mensen

Uit het bovenstaande wordt duidelijk dat door minder vlees te eten ten minste drie positieve effecten teweeggebracht worden. Allereerst mensen lopen minder kans op de hierboven beschreven ziektes. Ten tweede neemt zowel in Nederland als erbuiten de CO₂-uitstoot, het energiegebruik en het landgebruik af. Ten derde levert dit heel veel plantaardig eiwit (een veelvoud van de hoeveelheid dierlijk eiwit) op in de vorm van onder andere graan- en soja-eiwit dat wereldwijd kan dienen als plantaardig voedsel.

Scenario	Klimaatimpact (Mton CO ₂ -eq. per jaar en relatieve afname (%))	
	Enkel vlees en vleesvervangers	Vlees, zuivel, eieren en vleesvervangers
0. Huidige situatie	16,6	21,5
1. Gezond eetpatroon	10,2 (38%)	14,0 (35%)
2. Verschuiving binnen productcategorie	12,6 (24%)	17,2 (20%)
3. Verschuiving tussen productcategorieën	9,1 (45%)	14,6 (32%)
4. Verschuiving naar 50% plantaardig	9,8 (41%)	14,7 (31%)
5. Verschuiving naar flexitarisch en een gezond eetpatroon	5,9 (64%)	9,7 (55%)
6. Verschuiving naar volledig vegetarisch en een gezond eetpatroon	2,7 (84%)	6,5 (70%)

Tabel 8 Klimaatimpact van diverse transitie, uitgedrukt in absolute en relatieve waardes.¹⁷⁶

¹⁷⁶ CE Delft (2012): Milieueffecten van verbeteropties van de Nederlandse eiwitconsumptie. p.23

Als men gemiddeld een gezond eetpatroon (nog steeds bestaande uit vlees van alle categorieën) aanneemt, neemt de CO₂-uitstoot van de vleesindustrie al af met bijna 40%. Als daarbij mensen ook overschakelen op een meer plantaardig (flexitairisch) dieet, neemt deze uitstoot in totaal af met ruim 64%. Een volledig vegetarisch en gezond eetpatroon leidt tot een afname van 84%. Dergelijke verschuivingen hebben ook positieve gevolgen voor de verzuring en het landgebruik. Zo blijkt dat bij deze drie verschuivingen ook het landgebruik met vergelijkbare percentages vermindert. Dat zou een stuk land opleveren met een grootte van 11,000 tot 24,000 km², oftewel 28% tot 60% van de oppervlakte van Nederland, waarvan een belangrijk deel grasland.

Het hiermee vrijgekomen land kan ingezet worden voor andere doeleinden

Als er geleidelijk aan steeds meer land vrijkomt, kan het land (indien niet geschikt voor de verbouwing van voedsel en er geen gras kan groeien) gebruikt worden ten behoeve van energievoorziening. Er kunnen zonneweides aangelegd worden, zoals dat bijvoorbeeld in Gelderland gedaan wordt. Bij het Gelderse project Zon op 't Erf worden op leegstaande boerenerven grote zonneweides gerealiseerd, waarbij naar verwachting minstens 750 MWp geïnstalleerd wordt¹⁷⁷. Voor graslanden is er meer mogelijk: het gras zou geoogst en vervolgens omgezet naar pellets kunnen worden middels een zogenaamde graswasser¹⁷⁸. Deze graspellets kunnen dan bijgemengd worden met houtpellets en bijdragen aan warmtevoorziening. Interessanter nog is het om het gras van grasland te raffineren en om te zetten in veevoer en aminozuren voor mensen. In het volgende hoofdstuk over grasraffinage en de mengveevoederindustrie zullen we hier verder op ingaan.

Het vrijgekomen land ten behoeve van veevoer kan direct worden ingezet voor de productie van eiwitrijke planten

Buiten land waar dieren gehouden worden, komt er nog meer land vrij, namelijk de plekken waar momenteel veevoer geteeld werd. Zoals eerder geciteerd gaat ongeveer 40% van de mondiale graanoogst en 70% van de soja-oogst naar veevoer. Een deel van deze oogsten ten behoeve van de Nederlandse vleesconsumptie kan nu aangewend worden als basis voor plantaardig voedsel voor mensen. Omdat deze plantaardige eiwitketen zoveel efficiënter is dan de dierlijke, kan niet alleen de Nederlandse eiwitbehoefte makkelijk opgevangen worden, maar ook die van diverse andere landen deels ingevuld worden.

Discussie

Eerder zagen we wat de relatieve impact van een transitie naar een ander eiwitpatroon is op het klimaat: bij het veranderen van ons huidige dieet naar een dieet met een gezondere hoeveelheid vlees neemt de impact af met 40%, bij een flexitairisch dieet met 64% en met 84% bij een collectief dieet. Het energiegebruik van de vleesindustrie bedroeg in 2014 4.0 PJ, met name elektriciteit voor koeling¹⁷⁹. Wij stellen op basis van de eerder besproken trends, de koers van de voedselagenda en het gezondheidsaspect dat het waarschijnlijk is

¹⁷⁷ AGEM (2015): Werkconferentie Zon op Erf.

¹⁷⁸ Vermont Grass Energy Partnership (2011): Technical Assessment of Grass Pellets as Boiler Fuel in Vermont.

¹⁷⁹ RVO (2015): MJA3-Sectorrapport Vleesverwerkende industrie.

dat in 2030 deze impact gehalveerd is. Dat houdt in dat ongeveer de helft van de mensen gezonde hoeveelheden vlees (met gelijkgebleven frequentie) eet, ongeveer 40% flexitariër is en ongeveer 10% vegetariër is. Dan zou de vleesindustrie gehalveerd zijn, en daarmee ook de milieu-impact en het energiegebruik (tot 2.0 PJ). Dit zou de CO₂-emissie halveren van 16.6 Mton naar 8.3 Mton en het landgebruik van 25,500 km² naar 12,750 km².

Door de zuivelindustrie wordt meer energie verbruikt dan de vleesindustrie: 19 PJ¹⁸⁰. Kaasproductie is met name vrij inefficiënt alsook energie-intensief: van de 12.6 Mton beschikbare melk wordt 6.6 Mton gebruikt om 0.8 Mton kaas te produceren¹⁸¹. 0.3 Mton wordt geïmporteerd, 0.8 Mton geëxporteerd en 0.3 Mton geconsumeerd. Meer dan de helft van de melkproductie is dus ten behoeve van de kaasproductie, waarvan meer dan driekwart geëxporteerd wordt¹⁸². De Nederlander eet echter wel meer kaas dan aangeraden wordt (zie voorgaande tabel): ongeveer 1.5 keer zoveel als aangeraden. Als de Nederlander dan ook gezondere hoeveelheden kaas gaat eten, leidt dat tot een reductie van 0.1 Mton kaasproductie. Naar onze schatting is kaasproductie verantwoordelijk voor de helft van de energieconsumptie van de zuivelindustrie (9.5 PJ). Als de productie afneemt van 0.8 Mton tot 0.7 Mton, neemt het energiegebruik af met $0.1 / 0.8 * 9.5 = 1.2$ PJ.

In totaal kan er dus 2 PJ in de vleesindustrie en 1.2 PJ in de zuivelindustrie bespaard worden als Nederlanders gezondere hoeveelheden vlees en zuivel gaan consumeren. Voedsel in relatie tot gezondheid lijkt enerzijds een onderwerp waarop de overheid wil sturen, en anderzijds een onderwerp waarop burgers ook uit eigen interesse steeds meer bewuste keuzes maken. Het lijkt daarom aannemelijk om deze besparingen te postuleren - en het is uiteraard ook mogelijk dat deze zich verder doorzetten.

Wellicht gaan de Nederlanders echter nog wat verder en stappen zij over op een grotendeels vegetarisch eetpatroon (waarbij in de eiwitbehoefte voorzien wordt door zuivel en plantaardige eiwitten). Bij een volledig vegetarisch eetpatroon neemt de klimaatimpact af met 84% zoals wij eerder zagen. Dan daalt de CO₂-uitstoot van de vlees(vervanger)industrie van 16.6 Mton naar 2.7 Mton en het landgebruik van 25,500 km² naar 4,080 km². Als het energiegebruik per volume voor de productie van vlees en vleesvervangers vergelijkbaar is, zou dat betekenen dat het energiegebruik van de vlees(vervanger)industrie ook afneemt met 84% van 4 PJ naar 0.6 PJ. Als de gemiddelde Nederlander verder de aangeraden hoeveelheid zuivel consumeert, wordt dezelfde besparing gerealiseerd die eerder berekend is: 1.2 PJ op 19 PJ.

Indien men compleet plantaardig (veganistisch) zou gaan eten, zou een CO₂ uitstoot van 2.7 Mton resteren op een eerdere uitstoot van 21.5 Mton. Het bodemgebruik komt dan op naar schatting 4,000 km², van 29,000 km² nu.

¹⁸⁰ RVO (2015): MJA3-Sectorrapport Zuivelindustrie.

¹⁸¹ ZuivelNL (2015): Zuivel in cijfers 2014. p.20

¹⁸² ZuivelNL (2015): Zuivel in cijfers 2014. p.20

Klimaatkans 7: De centrale mengvoeder industrie en decentrale grasraffinage

In het vorige hoofdstuk bespraken we dierlijk en plantaardig eiwit en introduceerden we het concept eiwit-efficiëntie. Dat concept pasten wij met name toe op een transitie van dierlijk naar plantaardig eiwit; in dit hoofdstuk kijken we naar het verbeteren van de eiwit-efficiëntie binnen de ketens van dierlijk eiwit. We zagen eerder al dat er een groot verschil in de eiwit-efficiëntie zit afhankelijk van het dier en diens eiwitconsumptie. Dieren hebben een grote eiwitbehoefte, en om die te vervullen worden nu eiwitrijke producten als sojaschroot geïmporteerd vanuit Zuid-Amerika¹⁸³. Er is echter een zeer aanzienlijke verbetering in de eiwit-efficiëntie mogelijk door het veevoer decentraal te fabriceren door grasraffinage: zowel de eiwitproductie als de eiwitconsumptie door het dier worden efficiënter. Daarnaast is dit energetisch ook ruim 4 maal zo efficiënt. Verder stelt dit boeren in staat veel meer zelfvoorzienend te zijn, iets wat haaks staat op de gangbare praktijk in de (centrale) mengveevoederindustrie.



Context

Grazende dieren zetten (delen van) gras op een inefficiënte manier om in nuttige bouwstenen waarmee ze nieuwe eiwitten opbouwen

Planteneters die tevens herkauwers zijn, zoals koeien, kunnen wel gras verteren: door een inefficiënt proces breken bacteriën het onbestendige eiwit in gras af en zetten dit om in eigen bouwstenen (aminozuren), van waaruit nieuwe eiwitten opgebouwd worden¹⁸⁴. De eiwit-efficiëntie van dit proces is ongeveer 20%; het restant eindigt als mest¹⁸⁵. Als koeien deze eiwitten bestendig binnen zouden krijgen, zouden zij direct opgenomen kunnen worden door de dunne darm en hoeven zij niet eerst afgebroken en heropgebouwd te worden. Er is dus veel ruimte voor verbetering. Ook is er voldoende grasland: ongeveer 12,000 km² van Nederland (30%) wordt gebruikt voor veehouderij en dit betreft met name grasland (ruim 10,000 km²)¹⁸⁶.

¹⁸³ WUR (2012): Grasraffinage in de veehouderij. p.2

¹⁸⁴ Innovatie Agro & Natuur (2016): Geraffineerd voeren. Naar een sluitende mineralenkringloop door raffinage van lokaal geteeld veevoer. p.5

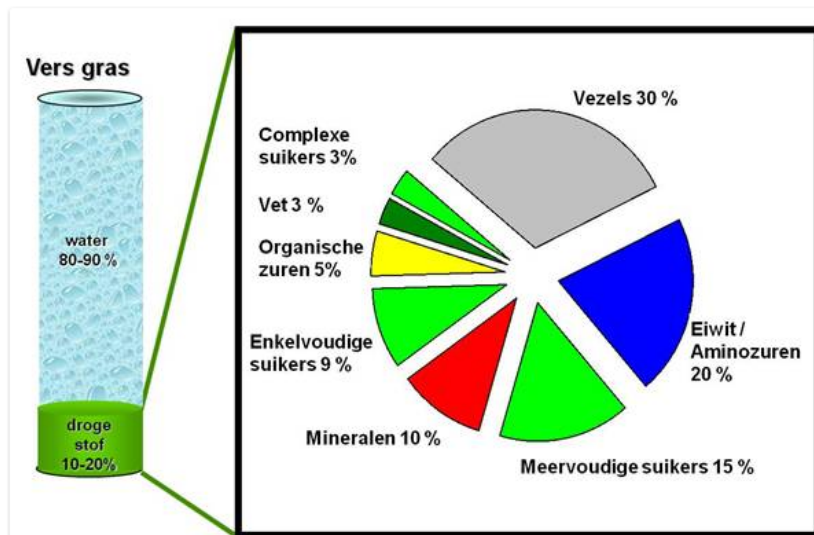
¹⁸⁵ Initiatiefgroep bioraffinage De Peel (2014): Meer waarde halen uit gras en gewas. p.59

¹⁸⁶ CBS (2016): Landbouw; gewassen, dieren en grondgebruik naar hoofdbedrijfstype, regio.

Trend

Decentrale grasraffinage kan op een efficiëntere manier voorzien in de aminozuurbehoefte van mensen en eiwitbehoefte van dieren

Deze verbetering kan mogelijk gemaakt worden door eiwitten uit andere producten te halen, zoals dat bij grasraffinage gedaan wordt. Hierbij wordt gras uitgeperst, wat leidt tot twee gescheiden producten: vezels en sap met daarin opgeloste eiwitten en mineralen¹⁸⁷. De vezels kunnen ingezet worden als grondstof in de landbouw, (papier)industrie of zelfs als rundervoeder. Er komt veel sap vrij, aangezien gras voor 80% tot 90% uit water bestaat (zie figuur). Dit sap bevat eiwitten die zeer interessant als veevoer(supplement) zijn. Dit sap wordt doorgaans vervolgens verwarmd, zodat het water verdampst en de eiwitten achterblijven. Dit is echter een energie-intensief proces dat veel warmte vraagt. Veel slimmer is het dit geproduceerde sap aan het vee te voeren (en daarmee ook in de waterbehoefte te voorzien). Dit bespaart energie (verdampen), landbouwgronden in Zuid-Amerika en veel transport. Het ligt het meest voor de hand dit lokaal te doen, aangezien dit sap zeer beperkt houdbaar is.



Figuur 14: Gemiddelde samenstelling gras.

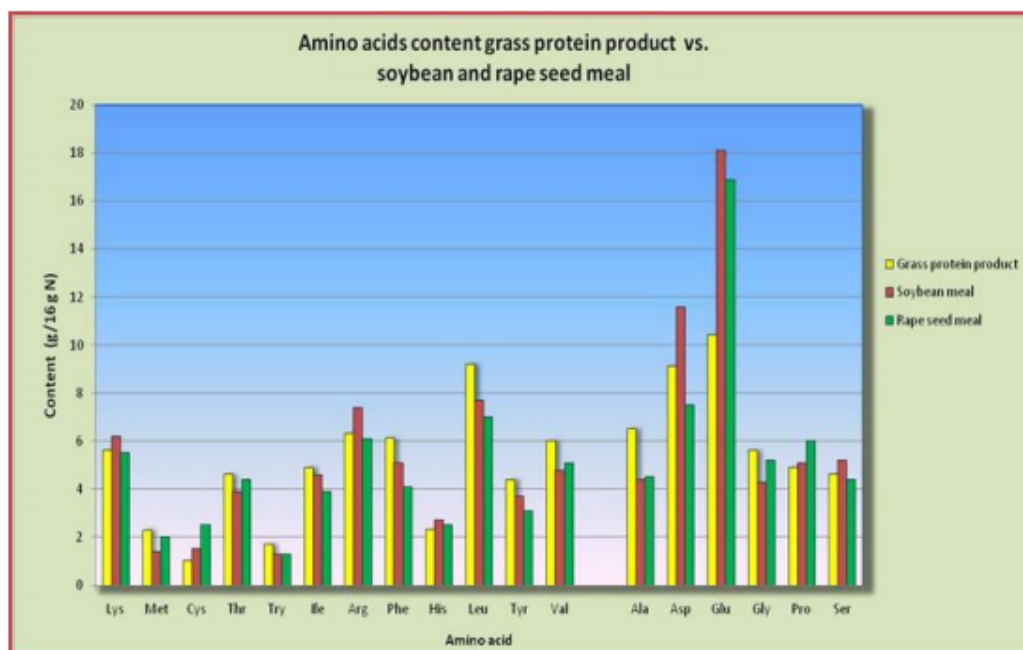
Nog slimmer is het uit dit sap eerst bepaalde componenten te halen (zonder het te verdampen). Herkauwers kunnen wel voedingsmiddelen halen uit gras; eenmagigen zoals mensen niet en dienen hun behoeften aan aminozuren op een andere manier te vervullen. Varkens krijgen aminozuren nu binnen in de vorm van soja; gras heeft echter een vergelijkbare aminozuurinhoud als soja en raapschroot (zie figuur 14). Als de aminozuren in gras door raffinage beschikbaar kunnen komen voor eenmagigen, wordt de inefficiënte omzetting van onbestendige eiwitten in aminozuren in herkauwers omzeild¹⁸⁸. Dit is mogelijk door de gewenste aminozuren te isoleren na hydrolyse van de geëxtraheerde eiwitten¹⁸⁹. Op deze manier zouden voor mensen en varkens essentiële aminozuren uit het grassap gehaald kunnen worden en kan het resterende sap aan de koeien gevoerd worden. Op deze

¹⁸⁷ WUR (2012): Grasraffinage in de veehouderij. p.2

¹⁸⁸ Innovatie Agro & Natuur (2016): Geraffineerd voeren. Naar een sluitende mineralenkringloop door raffinage van lokaal geteeld veevoer. p.5

¹⁸⁹ WUR (2013): Biobased Economy: de Potentie van Eiwitten voor Technische Toepassingen. p.30-1

manier ontvangen mensen en varkens hun essentiële aminozuren en breken koeien niet langer met veel verliezen de oorspronkelijke onbestendige eiwitten af om bouwstenen te maken.



Figuur 15: Aminozuurinhoud voor gras, soja en koolzaad.

De koeien hebben zelf ook een behoefte aan eiwit, maar daar kan ook met dit proces in voorzien worden. Slechts een deel van het grassap is namelijk gestript van eiwitten en aminozuren; de rest kan gewoon gevoerd worden aan het rundvee. Daarnaast kan het grasvezel, het andere product van grasraffinage, ook ingezet worden als ruwvoeder, mits het als silage verstrekt wordt¹⁹⁰. Dat gebeurt door grasvezel in te kuilen en suikers bij te mengen¹⁹¹. Het voeren van melkvee met dergelijk ruwvoeder lijkt verder geen impact te hebben op de melkproductie¹⁹².

Volgens diverse berekeningen is grasraffinage financieel haalbaar en rendabel, zowel voor basale raffinage als raffinage tot specifieke aminozuren

Een laatste aspect dat ook aandacht verdient is de financiële kant van grasraffinage. In het rapport “Geraffineerd voeren” zijn diverse berekeningen uitgevoerd op de rentabiliteit van grasraffinage, waaruit blijkt dat grasraffinage economisch haalbaar is¹⁹³. Dit is het geval voor simpele raffinage met eiwit als eindproduct alsook meer geavanceerde raffinage met specifieke aminozuren als eindproduct. De business case voor grasraffinage in de

¹⁹⁰ WUR (2015): Grasraffinage en gebruik van grasvezel in de rundveevoeding. p.23

¹⁹¹ Initiatiefgroep bioraffinage De Peel (2014): Meer waarde halen uit gras en gewas. p.7

¹⁹² WUR (2015): Grasraffinage en gebruik van grasvezel in de rundveevoeding. p.23

¹⁹³ Innovatie Agro & Natuur (2016): Geraffineerd voeren. Naar een sluitende mineralenkringloop door raffinage van lokaal geteeld veevoer. P.14 en verder.

achterhoek komt ook positief uit¹⁹⁴. Grasraffinage-installaties worden daarbij geleverd door het Nederlandse bedrijf Grassa. Deze installaties hebben doorgaans een capaciteit van 8 ton vers gras oftewel 1.3 ton ds gras per uur bij een investering van 1 miljoen euro¹⁹⁵.

Impact

Grasraffinage kan decentraal plaatsvinden en vormt een oplossing voor het mestoverschot

Door grasraffinage zouden veehouders dus meer zelfvoorzienend kunnen worden: zij kunnen hun graslanden gebruiken om voor voer voor hun eigen vee te zorgen en kunnen daarnaast producten (vezels, aminozuren, biogas) eventueel verkopen. Hierdoor zullen de importen van veevoer ook sterk afnemen. Grasraffinage is namelijk op diverse manieren veel efficiënter dan de huidige toelevering van soja als eiwitvoorziening. Grasraffinage kan lokaal plaatsvinden en zorgt voor een efficiëntere productie van plantaardig eiwit alsook een efficiëntere omzetting van plantaardig eiwit naar dierlijk eiwit: eiwitten uit gras worden niet eerst afgebroken en dan weer opgebouwd. Daarnaast kunnen de uit het grassap verkregen essentiële aminozuren in afgestemde hoeveelheden toegediend worden aan het vee.

Dit laatste is meteen een (gedeeltelijke) oplossing voor een ander probleem dat reeds jaren bestaat: het mestoverschot. Geïmporteerde stoffen als soja bevatten een relatief groot aandeel mineralen, meer dan we vervolgens exporteren, en zodoende is er door de jaren heen een mestoverschot ontstaan¹⁹⁶. Door met grasraffinage de efficiëntie van diervoeders te verbeteren is er allereerst veel minder soja, dat rijk aan fosfaat en stikstof is, nodig¹⁹⁷. Daarnaast bevat gras minder stikstof en fosfaat dan soja en kan het fosfaat ook van het grassap verwijderd worden¹⁹⁸. Om deze twee redenen eindigen er vele tientallen procenten minder ammoniak en fosfaat in de rundermest aangezien er minder in het voer aanwezig is, en daarom ook in het oppervlaktewater.

De eiwitopbrengst uit gras per hectare is 40% hoger dan die uit soja, en zo hoog dat grasraffinage op het Nederlandse grasland voldoet voor de eiwitbehoefte van al het Nederlandse vee

Laten we nog iets verder ingaan op de eiwitopbrengst van gras en soja. Zoals het figuur over de samenstelling van gras aangeeft, is ongeveer 20% van de droge stof op gewichtsbasis eiwit. De grasopbrengst per ha bedraagt 10 ton ds per jaar en daarmee is de eiwitproductie 2 ton ds per hectare; Voor soja ligt de opbrengst op 4 ton ds per ha per jaar bij een eiwitinhoud van 35%, en is daarmee de eiwitproductie 1.4 ton ds per hectare¹⁹⁹. Daaruit

¹⁹⁴ WUR (2013): Kleinschalige Bioraffinage in de Achterhoek: een duurzame oplossing voor het mestprobleem. p.18-9

¹⁹⁵ WUR (2013): Kleinschalige Bioraffinage in de Achterhoek: een duurzame oplossing voor het mestprobleem. p.19

¹⁹⁶ WUR (2013): Kleinschalige bioraffinage in de Achterhoek. p.4

¹⁹⁷ Initiatiefgroep bioraffinage De Peel (2014): Meer waarde halen uit gras en gewas. p.7

¹⁹⁸ Initiatiefgroep bioraffinage De Peel (2014): Meer waarde halen uit gras en gewas. p.9

¹⁹⁹ Innovatie Agro & Natuur (2016): Geraffineerd voeren. Naar een sluitende mineralenkringloop door raffinage van lokaal geteeld veevoer. p.5

volgt dat de eiwitopbrengst per hectare uit gras 40% hoger is dan die uit soja. Een ander belangrijk voordeel van grasteelt is dat het niet tot ontbossing hoeft te leiden, iets wat de toenemende productie van soja wel veroorzaakt heeft. Indien al het soja bestemd voor veevoer vervangen wordt door geraffineerd gras, levert dit bij de huidige veehouderij 1,500 km² aan land op, en 5,000 km² als het land dubbel ingezet wordt (voor zowel veehouderij als grasraffinage) (zie *tekstbox*). In totaal wordt hiermee beslag gelegd op 35% van het Nederlandse grasland.

*Met 10,000 km² oftewel 1 miljoen ha grasland is de eiwitopbrengst in theorie maximaal 1 miljoen ha * 2.0 ton /ha = 2.0 Mton ds eiwit als al het eiwit uit gras gehaald wordt. In 2013 werd in totaal in de dierhouderij ongeveer 2 Mton ds sojaboonproducten in mengvoer geconsumeerd²⁰⁰; met een eiwitinhoud van 35% staat dit gelijk aan een eiwitconsumptie van 0.7 Mton ds. Met een eiwitopbrengst van 1.4 ton ds per ha was hier dus 0.7 Mton / 1.4 ton ds /ha = 5000 km² voor nodig. Voor eenzelfde eiwitopbrengst uit grasraffinage is in theorie 0.7 / 2.0 * 1 Mha = 3,500 km² grasland nodig. Echter gebruiken wij op dit moment reeds 12,000 km² voor de veehouderij, waarvan het overgrote deel grasland is. Nu krijgt het vee ook een deel van haar eiwitbehoefte op andere manieren binnen dan door soja, maar soja vormt een zeer belangrijk en groot aandeel²⁰¹. Echter is het met een 'bezettingsgraad' van 35% van het grasland veilig om te stellen dat er meer dan genoeg grasland is om al het Nederlandse vee van eiwit te voorzien door middel van grasraffinage. Daarom wordt hierbij netto maximaal 1,500 km² aan land gewonnen, en maximaal 5,000 km² als dit land dubbel ingezet wordt (voor veehouderij en grasraffinage).*

Zowel de productie van plantaardig eiwit als de omzetting van plantaardig eiwit naar dierlijk eiwit zijn door grasraffinage energetisch efficiënter met respectievelijk een factor 4.4 en 1.5

De eiwitopbrengst van gras mag dan hoger liggen dan dat van soja, maar dat betekent niet dat het per se energetisch efficiënter is. Het blijkt volgens berekeningen (zie *tekstbox*) echter ruim 4 maal zo efficiënt te zijn om dieren met geraffineerd gras in plaats van soja te voeden.

*De primaire energieconsumptie per kg ds geproduceerd sojaschroot bedraagt ongeveer 5.7 MJ/kg, waarvan 35% transport en 30% brandstoffen voor de teelt²⁰². Met een consumptie van 2.0 Mton in de dierhouderij (zie vorige paragraaf) betekent dat de sojaketen om 5.7 PJ / Mton * 2.0 Mton = 11.4 PJ aan energie vraagt. Met een eiwitinhoud van 35% is de energetische eiwittefficiëntie 5.7 MJ / kg / 35% = 16.0 MJ / kg eiwit voor de productie van 2.0 Mton * 35% = 0.7 Mton. De productie van 1 kg*

²⁰⁰ WUR (2013): Sojaverbruik in de Nederlandse diervoederindustrie 2011-2013. p.13

²⁰¹ CE Delft (2007): Energiegebruik in de Veevoerketen. p.45

²⁰² CE Delft (2007): Energiegebruik in de Veevoerketen. p.56

eiwit uit gras door grasraffinage is aanzienlijk efficiënter. In Nederland werkt het bedrijf Grassa in samenwerking met de Wageningen Universiteit aan grasraffinage. Zij hebben reeds mobiele raffinage units ontwikkeld die nog wel het grassap drogen, wat de meest energie-intensieve stap is. Desondanks kostte de productie van 1 kilogram eiwit met grasraffinage in 2011 1 kWh, oftewel 3.6 MJ. Daarmee is de energetische eiwittefficiëntie 3.6 MJ / kg eiwit²⁰³, ruim 4 keer zo hoog als die voor sojaschroot. Aangezien dit lokaal gedaan wordt, komen hier geen transportkosten bij en ligt de eiwittefficiëntie van de eiwitproductie uit gras veel hoger.

Een bijkomend gevolg is dat de eiwittefficiëntie van de consumptie door het dier ook hoger is. Koeien breken door betere ontsluiting minder eiwitten af en daardoor verbetert het rendement van de dierlijke eiwitproductie (hier melk) van 20% naar 30%²⁰⁴. Daarom zouden koeien in theorie bij een 1.5 keer zo hoge eiwitomzetting 1.5 keer zo weinig eiwitvoedsel behoeven.

Discussie

Grasraffinage leidt dus tot hogere eiwitopbrengsten, hogere energie efficiëntie, vrijkomende landbouwgronden en aminozuren voor voeding en vezels voor de papierindustrie. In totaal wordt bij een complete vervanging van al het sojaschroot bestemd voor veevoer door geraffineerde gras hiermee 3.4 PJ binnen Nederland bespaard (zie *tekstbox*) en wordt door herinvulling 1,500 km² vrijgespeeld, en 5,000 km² als dit land dubbel ingezet wordt (voor veehouderij en grasraffinage). Hiervoor wordt dan iets meer dan 30% van het Nederlandse grasland gebruikt.

*De totale krachtvoerketen vroeg in 2007 om 62 PJ, waarvan ruim de helft buiten Nederland gebruikt werd²⁰⁵. Stel dat de helft van energieconsumptie in de sojaketen buiten Nederland plaatsvindt. Dan wordt 50% * 11.4 PJ = 5.7 PJ van de energieconsumptie die hoort bij de consumptie van 0.7 Mton eiwit toegerekend aan Nederland in het ETM. Voor eenzelfde hoeveelheid eiwit uit decentraal geraffineerd gras is 3.6 PJ / Mton * 0.7 = 2.5 PJ nodig. Echter is als gevolg hiervan de eiwitconsumptie van koeien anderhalf keer zo efficiënt en komen er ook eiwitten en aminozuren vrij voor varkens en mensen. Aangezien een kwart van het sojaschroot voor koeien bestemd is²⁰⁶, betekent dit dat er 0.7 Mton * ¾ + 0.7 Mton * ¼ / 1.5 = 0.64 Mton eiwit nodig is en het daarbij behorende energiegebruik 0.64 Mton * 3.6 PJ / Mton = 2.3 PJ bedraagt: een energiebesparing van 3.4 PJ. Hiervoor is met een eiwitopbrengst van 2 ton ds / ha ruim 0.64 Mton / 2.0 ton / ha = 0.32 miljoen hectare grasland nodig. Er is meer dan 1 miljoen hectare grasland beschikbaar, dus het landbeslag van grasraffinage is relatief klein.*

²⁰³ Grassa (2011): Grassa!: kassa met gras. p.10

²⁰⁴ Initiatiefgroep bioraffinage De Peel (2014): Meer waarde halen uit gras en gewas. p.59

²⁰⁵ CE Delft (2007): Energiegebruik in de Veevoerketen. p.29

²⁰⁶ WUR (2013): Sojaverbruik in de Nederlandse diervoederindustrie 2011-2013. p.13

Er zijn echter ook andere vormen van eiwittoevoer dan soja(schroot) die hier niet meegenomen zijn. Een andere belangrijke voedingscomponent is mais, wat met name in de Achterhoek veel ingezet wordt; deze mais kan bovendien ook geraffineerd worden in een maisraffinaderij²⁰⁷. Andere grondstoffen voor veevoer zouden ook (deels) vervangen kunnen worden door geraffineerd gras. Dit zijn echter grotendeels kleine, regionale reststromen; soja is daarentegen op gewichtbasis verantwoordelijk voor reeds meer dan de helft van de import van veevoercomponenten²⁰⁸.

²⁰⁷ WUR (2013): Kleinschalige Bioraffinage in de Achterhoek: een duurzame oplossing voor het mestprobleem. p.17 en verder

²⁰⁸ WUR (2014): Het percentage regionaal eiwit in het Nederlands veevoerrantsoen. Update voor 2014. p.12

Klimaatkans 8: Een “nieuwe energie-intensieve industrie”: dataopslag en -verkeer

De laatste klimaatkans is geen klimaatkans zoals de anderen. Het is het gevolg van een eerder besproken trend, digitalisering, die de opkomst van een nieuwe energie-intensieve industrie veroorzaakt: de ICT-industrie. Enkele gevolgen van digitalisering zijn reeds in de andere hoofdstukken behandeld. In dit hoofdstuk gaat het over de opkomst van deze industrie. Deze ICT industrie kent al een groot energieverbruik en kent momenteel een exponentiële groei die mogelijk zich sterk doorzet de komende jaren. De industrie is betrokken bij ontwikkelingen als het Internet of Things, Big data, smart media en de eerder genoemde zelfrijdende auto's. Op de groei van de sector en haar energiegebruik kan geanticipeerd worden door enkele van de hier besproken efficiëntie-maatregelen in te voeren.



Trend

Verwachte trends van het komende decennium zijn Pervasive Computing, Internet of Things, Big data, Cloud en Efficiency

Een recent rapport van CE Delft bespreekt vijf 'megatrends' in ICT die ook het energiegebruik van de ICT sector sterk kunnen beïnvloeden²⁰⁹. Dat zijn de volgende trends:

- 1) Pervasive computing: er is vrijwel overal en altijd, via meerdere apparaten, toegang tot het internet.
- 2) Internet of Things: apparaten kunnen onderling communiceren, informatie verkrijgen en uitwisselen en op basis daarvan handelen.
- 3) Big data: de hoeveelheid data die opgeslagen wordt, groeit exponentieel.
- 4) Cloud: ICT-toepassingen worden steeds meer 'gehuisvest' bij cloud service providers die zorg dragen voor de ICT-infrastructuur voor een host.
- 5) Efficiency: het energiegebruik per geleverde dienst wordt steeds lager door een combinatie van technologische en beleidsmatige trends.

De capaciteit en het energiegebruik van centrale ICT servers en datacenters groeien met ongeveer 20% per jaar

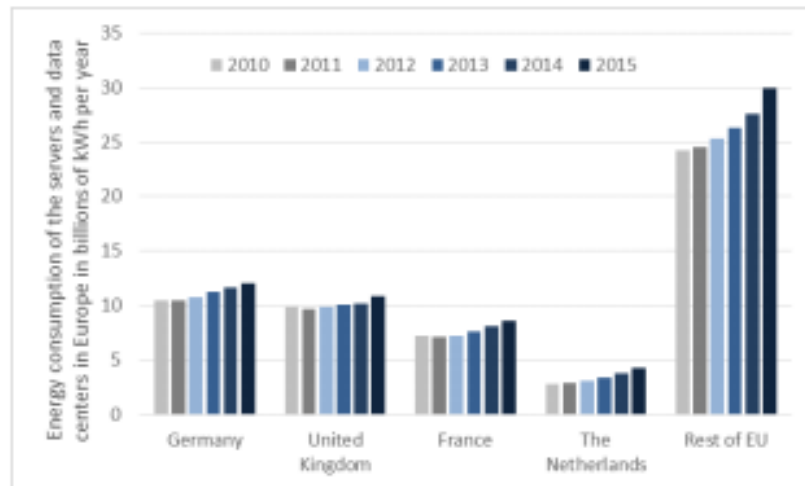
In 2013 gebruikte de centrale ICT branche 2.7 TWh oftewel 9.7 PJ aan elektriciteit²¹⁰; het gasgebruik van deze sector is onbekend. Deze industrie was in 2015 verantwoordelijk voor een energievraag van 4.3 TWh oftewel 15.4 PJ in Nederland²¹¹. Over een periode van 2 jaar staat die verandering gelijk aan een groei van 26% per jaar. In Duitsland kent deze industrie

²⁰⁹ CE Delft (2016): Trends ICT en Energie 2013-2030. p.29-31

²¹⁰ CBS (2015): Datacenters geven ICT-stroomverbruik Amsterdam een boost.

²¹¹ Borderstep (2015): Energy Consumption of Data Centers Continues To Increase.

een groei van ongeveer 20% per jaar sinds 2010²¹². Dit hangt samen met een groei van de data center capaciteit: In Europa is deze toegenomen met 16%; in Nederland is deze toename echter nog groter en wordt forse verdere uitbreiding verwacht vanwege de redelijke elektriciteitsprijzen en de gunstige locatie in verband met de trans-Atlantische internetverbinding²¹³.



Figuur 16: De ontwikkeling van het energiegebruik van servers en datacenters van 2010 tot 2015.

In deze getallen is zowel het gebruik van energie door datacenters als telecommunicatie meegenomen. Het energieverbruik van apparaten die decentraal staan opgesteld in kantoren en huizen of die mobiel worden meegenomen door mensen is nog niet verwerkt in de getallen. Ook het decentrale energiegebruik van bijvoorbeeld WiFi is niet meegenomen in het verbruik. Wat verder hierbij ook vermeld dient te worden is dat er een verschil is tussen het energiegebruik van de datacenters in Nederland en het ICT energiegebruik van de Nederlander. Een analogie met biomassa helpt hierbij wellicht: het datacenter gebruik (vergelijk landgebruik ten behoeve van biomassa) binnen Nederland is slechts een deel van de totale consumptie, want veel van ons gebruik betreft gebruik van datacenters (vergelijk land ten behoeve van biomassa) buiten Nederland. Google (en daarmee ook YouTube met al haar on demand streaming) heeft meerdere datacenters in Europa: de locaties zijn o.a. Finland en België²¹⁴. Dit betekent dat in bovenstaande energiegebruiken ook het Nederlandse aandeel in gigantische buitenlandse datacenters nog niet meegenomen is (maar andersom het buitenlandse aandeel in de Nederlandse datacenters ook niet).

Impact

Het energiegebruik van de centrale ICT sector zal waarschijnlijk voorlopig fors blijven toenemen

²¹² Borderstep (2015): Energy Consumption of Data Centers Continues To Increase

²¹³ Borderstep (2015): Energy Consumption of Data Centers Continues To Increase.

²¹⁴ Google (2015): Data centers. Inside Look. Where the Internet Lives.

Indien we vanuit het huidige energiegebruik van de centrale ICT (15.4 PJ) de groei van 20% per jaar zouden doortrekken naar 2030 en 2050, dan zou de energieconsumptie stijgen tot 237 PJ in 2030 en 9,096 PJ in 2050. Daarmee zou centrale informatietechnologie en communicatie vrijwel zonder enige twijfel de energie-intensieve industrie van de toekomst zijn.

Nu is het doortrekken van een exponentiële groei van 20% per jaar voor een dergelijk lange periode niet realistisch. Het is lastig voor te stellen dat het aantal zoekopdrachten voor de servers van Google 35 jaar lang zal toenemen met 20% per jaar, aangezien het aantal zoekopdrachten per persoon op een gegeven moment verzadigd lijkt. Eenzelfde situatie geldt voor het aantal foto's of films dat de gemiddelde persoon wil delen.

Echter neemt als gevolg van het Internet of Things (IoT) de communicatie tussen apparaten ook sterk toe. De zelfrijdende auto is wellicht een goed voorbeeld. Alle Tesla auto's geven nu al real-time continu informatie over waar ze rijden en wat de status van de auto is. In de toekomst gaan waarschijnlijk alle auto's dat doen, wat leidt tot een continue real-time datastroom voor iedere vervoersbeweging. En als deze auto's zelfrijdend worden, gaan ze bovendien onderling communiceren over tenminste hun route en snelheid. Alle slimme thermostaten geven continu informatie door aan de "Cloud" en in toenemende mate zullen ook andere apparaten in huis dat gaan doen. Verder zou het best kunnen dat deze thermostaten bijvoorbeeld aan de hand van het weerbericht dat ze van het internet plukken de temperatuur regelen. Daarom zou het ook best zo kunnen zijn dat de groei met 20% per jaar nog de komende 15 jaar voortduurt en daarna pas afvlakt.

Efficiëntieverbeteringen zijn onder andere te vinden in het verhogen van de bezettingsgraad van servers en het verminderen van het aantal ongebruikte servers

Met een dergelijke groei die veroorzaakt wordt vanuit trends aan de vraagzijde is het belangrijk ons te richten op het beperken van het energiegebruik. Uit een onderzoek van het National Resources Defense Council blijkt dat een gemiddelde energiebesparing van 50% in centrale servers mogelijk is²¹⁵.

Een forse besparing is mogelijk door de actieve servercapaciteit slim af te stemmen op de bezettingsgraad van de server. Momenteel is de server capaciteit (vergelijk met het elektriciteitsnet) gelijk aan de verwachte piekvraag, plus nog een extra marge voor de zekerheid. Deze piekcapaciteit wordt zelden bereikt; echter draait de server doorgaans op maximale capaciteit, terwijl de gemiddelde bezettingsgraad (in de Verenigde Staten) tussen de 12% en 18% is²¹⁶.

Het energiegebruik van een server die op volle capaciteit met een bezettingsgraad van minder dan 10% draait bedraagt bovendien nog steeds 30% tot 60% van het maximale energiegebruik. Dit energiegebruik zou fors lager zijn als de capaciteit slimmer afgestemd is op de (instantane) vraag. Het toepassen van virtualization, een techniek om meerdere besturingssystemen en servers op een fysieke computer te draaien, zou hieraan bijdragen.

²¹⁵ NRDC (2014): Data Center Efficiency Assessment. Scaling Up Energy Efficiency Across the Data Center Industry: Evaluating Key Drivers and Barriers.

²¹⁶ NRDC (2014): Data Center Efficiency Assessment. Scaling Up Energy Efficiency Across the Data Center Industry: Evaluating Key Drivers and Barriers. p.13

Verder is naar schatting 20% tot 30% van de servers in hun geheel idle of ongebruikt, maar niet gedecommissioneerd²¹⁷. Deze servers worden nog steeds gevoed met elektriciteit, maar draaien dus zonder een daadwerkelijke toepassing. Als virtualization toegepast wordt en ongebruikte servers gedecommissioneerd worden, kan een besparing van 35% gerealiseerd worden (zie *tekstbox*).

U.S. Data Center Segmentation Energy Use Methodology and Assumptions							
Segment	% of stock (based on # of servers)	Average PUE	Average server utilization	Average server age (years)	2011 Electricity Use (MWh)	Server power at average utilization level (SPECpower _{ssj2008}) (watts)	DC market segmentation by electricity consumption
Small- to Medium-sized Data Centers	40%	2.0	10%	3	37,500,000	149	49%
Enterprise/ Corporate	30%	1.8	20%	2	20,500,000	120	27%
Multi-tenant Data Centers	22%	1.8	15%	2	14,100,000	113	19%
Hyper-scale Cloud Computing	7%	1.5	40%	1	3,300,000	101	4%
High-performance Computing	1%	1.8	50%	2	1,000,000	169	1%
	100%				76,400,000		100%

Tabel 9 Gehanteerde aannames en gegevens over data centers per segment.

Met beter gebruik van virtualization, power management software, het uitschakelen van ongebruikte servers en CPU gebruik metrics die de efficiëntie voor een computer beter in kaart brengen moet het mogelijk zijn energie te besparen. Stel dat 25% van de servers ongebruikt is, opgespoord wordt en uitgezet wordt. Omdat zij een zeer lage bezettingsgraad hebben (als ruimte zonder invulling of toepassing), is het energiegebruik 45% van het maximale energiegebruik. Dat zou betekenen dat $45\% * 25\% = 11\%$ van het energiegebruik bespaard wordt. Laten we nu kijken naar de servers die wel gebruikt worden, maar een lage bezettingsgraad hebben. De eerste drie rijen van bovenstaande tabel geven de bedrijfsservers en data centers van diverse formaten weer; de laatste twee (hyper-scale cloud en high-performance) worden al goed bezet.

Stel dat deze drie typen servers dan een bezettingsgraad van niet gemiddeld 13% (average server utilization) maar 65% hebben door virtualization. Dat is een toename met een factor 5. Het energiegebruik bij hogere bezetting is ook hoger - wij schatten dat in dit geval op 125% van het huidige energiegebruik. De huidige elektriciteitsconsumptie van deze drie type servers is te vinden in de laatste kolom en bedraagt 95% (= 49% + 27% + 19%). Het bovenstaande zou betekenen dat het huidige energiegebruik van de eerste drie typen verandert van $95\% - 11\% = 84\%$ gebruikte servers naar $84\% / 5 * 125\% = 21\%$. Met deze twee maatregelen zal het elektriciteitsgebruik van servers afnemen van 95% naar 21%, oftewel met 74%.

²¹⁷ NRDC (2014): Data Center Efficiency Assessment. Scaling Up Energy Efficiency Across the Data Center Industry: Evaluating Key Drivers and Barriers. p.15

Zoals figuur 11 aangeeft gaat het grootste gedeelte van het energiegebruik naar de servers; andere grotere onderdelen zijn opslag en koeling. Naar schatting gaat 40% van het elektriciteitsgebruik naar servers; Met een besparing van 74% reduceert dat tot $40\% * 26\% = 10\%$ en bedraagt de totale besparing binnen het energiegebruik van de branche 30%. UPS (Uninterruptible Power Supply, noodstroomvoeding) is ook verantwoordelijk voor ongeveer 10% van het energiegebruik. Vaak maken UPS systemen gebruik van grote en krachtige accu's, die veel efficiënter zijn wanneer zij werken op een groot deel van hun maximale load²¹⁸. Aangezien de bezettingsgraad van de servers door virtualization kan toenemen, neemt daarmee ook de efficiëntie van de UPS systemen toe met tientallen procenten. Omdat daarnaast ook nog andere technieken geïmplementeerd kunnen worden die de efficiëntie bevorderen (e.g. double conversion, eco-mode)²¹⁹, is de verwachting dat dit aandeel in 2030 van 10% nu geslonken zal zijn tot 5% dan.

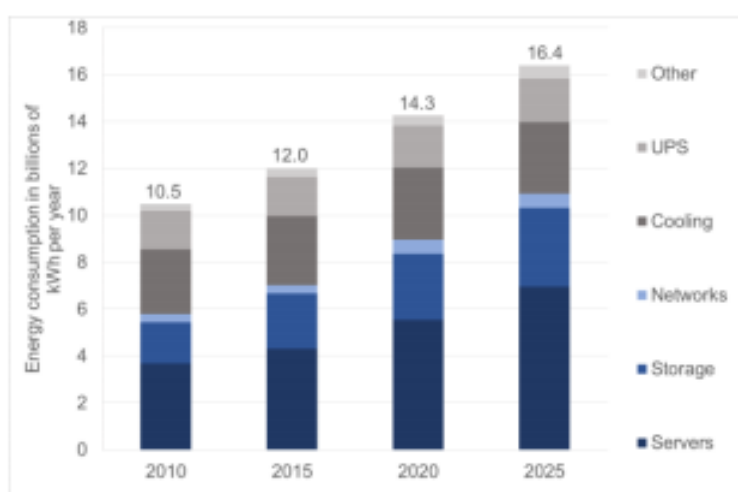


Figure 1: Energy consumption of servers and data centers in Germany from 2010 to 2015 and forecast to 2025 (Source: BMWi, 2015)

Figuur 17: De ontwikkeling, prognose en splitsing van het energiegebruik van servers en datacenters in Duitsland.

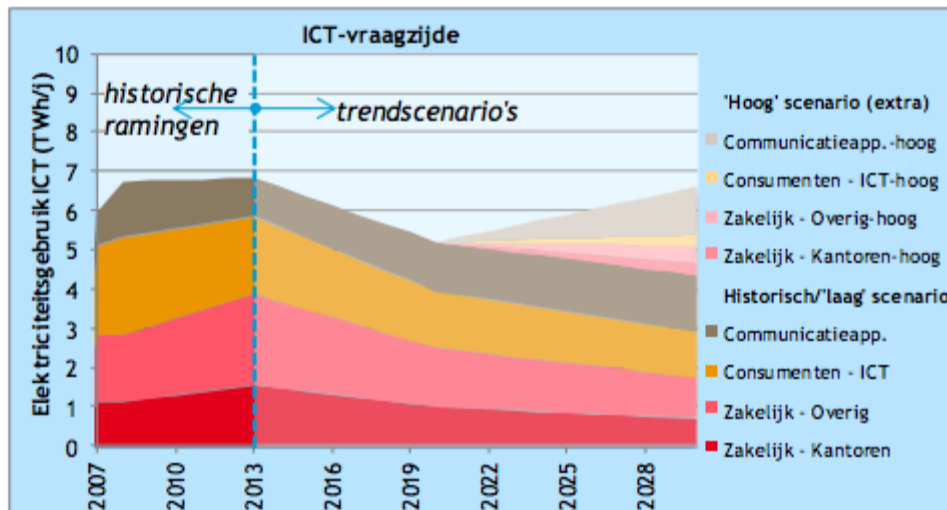
Bovenstaande verbeterpunten zijn verbeterpunten aan de IT-systemen zelf; daarnaast kan ook de 'huisvesting' van deze IT-systemen verbeterd worden. Een veelgebruikte indicator daarvoor is de PUE, oftewel power usage effectiveness parameter. De PUE staat gelijk aan het totale energiegebruik van het datacenter gedeeld door het energiegebruik van de IT-componenten daarbinnen. Een PUE is daarom idealiter en minimaal 1.0, wanneer de 'huisvesting' energieneutraal is. Het optimaliseren en energieneutraal maken van de gebouwen waar deze datacenters en servers staan zou het energiegebruik van deze sector verder kunnen doen dalen.

²¹⁸ Schneider Electric (2013): Making Large UPS Systems More Efficient. p.4

²¹⁹ Schneider Electric (2013): Making Large UPS Systems More Efficient. p.10

Ook aan de consumentenzijde leiden deze trends tot een toename van het aantal apparaten, maar ook tot efficiëntere apparaten

Vergelijkbare effecten van deze trends zijn te zien aan de consumentenkant: meer apparaten, maar efficiëntere. Door pervasive computing en het internet of things neemt het aantal communicatieapparaten meer toe dan de efficiëntie ervan; voor de overige ICT apparaten geldt het omgekeerde (zie Figuur 12). In huishoudens zijn digital ontvangers ('set-top boxes') de grootste energiegebruikers, op de zakelijke markt de serverruimten²²⁰. Uiteindelijk leidt dit volgens CE Delft tot iets lager of gelijkwaardig energiegebruik aan de ICT vraagzijde. Dit betekent dat energetisch de grootste gevolgen van de ICT trends te merken zijn aan de aanbodzijde.



Figuur 18: Verwachte ontwikkelingen aan de vraagzijde van de hele Nederlandse ICT.

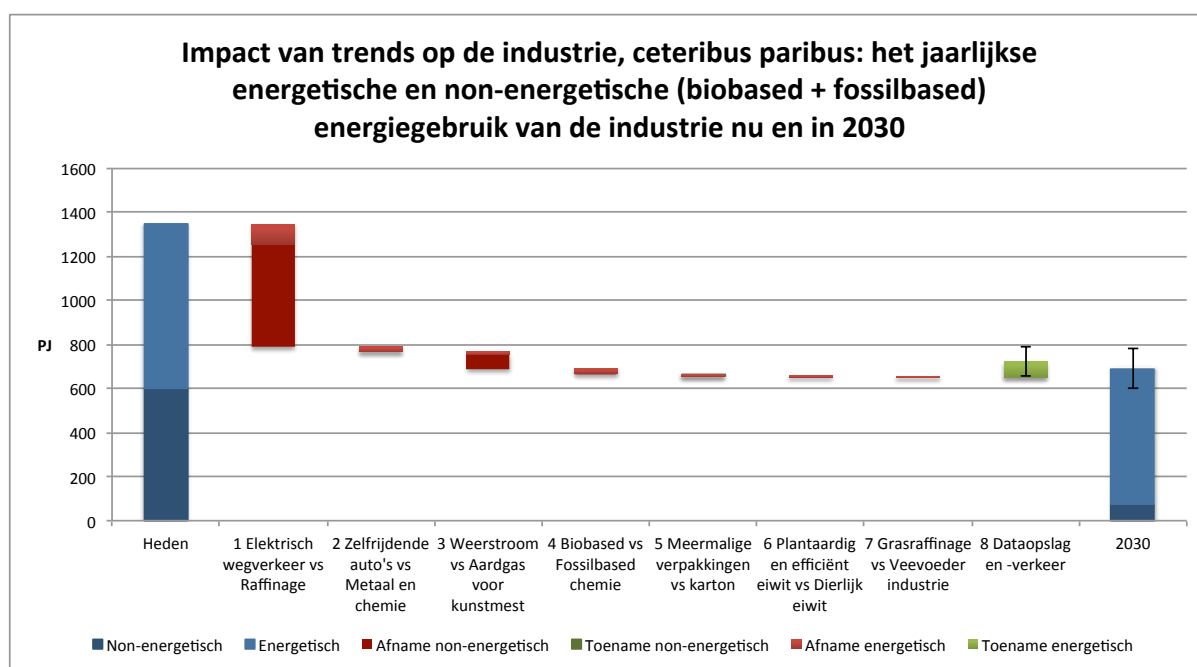
Discussie

Het huidige gebruik van datacenters wordt momenteel doorgaans niet apart expliciet meegenomen in modellen en scenario's. Door digitalisering en vijf ICT-megatrends zal het energiegebruik van de data centers en servers sterk toenemen. Het is niet exact weer te geven wat de invloed van de "centrale" ICT zal zijn op het energiegebruik in Nederland. In 2015 bedroeg de elektriciteitsconsumptie van de ICT sector aan de aanbodzijde 15.4 PJ. Als dit blijft groeien met 20% per jaar tot 2030, wat niet helemaal ondenkbaar is met de opkomst van het internet of things (waaronder zelfrijdende auto's), groeit het daadwerkelijke energie aandeel van 15.4 PJ tot 237 PJ in 2030. Door het verhogen van de bezettingsgraad van servers en het verwijderen van ongebruikte servers is dat te reduceren met 35% tot 154 PJ. In 2030 zijn er waarschijnlijk reeds zelfrijdende auto's en is het internet of things waarschijnlijk flink opgegroeid. Tot 2050 neemt het energiegebruik dan wellicht licht verder toe (alsook de efficiënties) tot 300 PJ. Daarmee komen we dan uit op de zeer grove bandbreedtes van 25-154 PJ voor 2030 en 35-300 PJ voor 2050.

²²⁰ CE Delft (2016): Trends ICT en Energie 2013-2030. p.33

De Nederlandse industrie in een klimaatneutrale toekomst

In de voorgaande hoofdstukken zijn 8 belangrijke, voor de industrie exogene trends besproken, die een grote invloed op de bestaande industrie kunnen hebben. Deze trends en hun (mogelijke) impact worden niet meegenomen worden in het overgrote deel van de recentelijk verschenen energiescenario's, visies en roadmaps. Indien genegeerd of niet voldoende geanticipeerd, vormen zij vaak bedreigingen voor de desbetreffende industrie; maar wanneer zij geanticipeerd worden door de industrie en gefaciliteerd door de overheid, kunnen zij leiden tot een competitievere en klimaatvriendelijkere industrie. De mogelijkheden die voortkomen uit deze exogene trends worden in dit rapport klimaatkansen genoemd. De industrie van de toekomst kan er daardoor structureel anders uitzien, met name wanneer de geobserveerde trends zich volledig doorzetten.

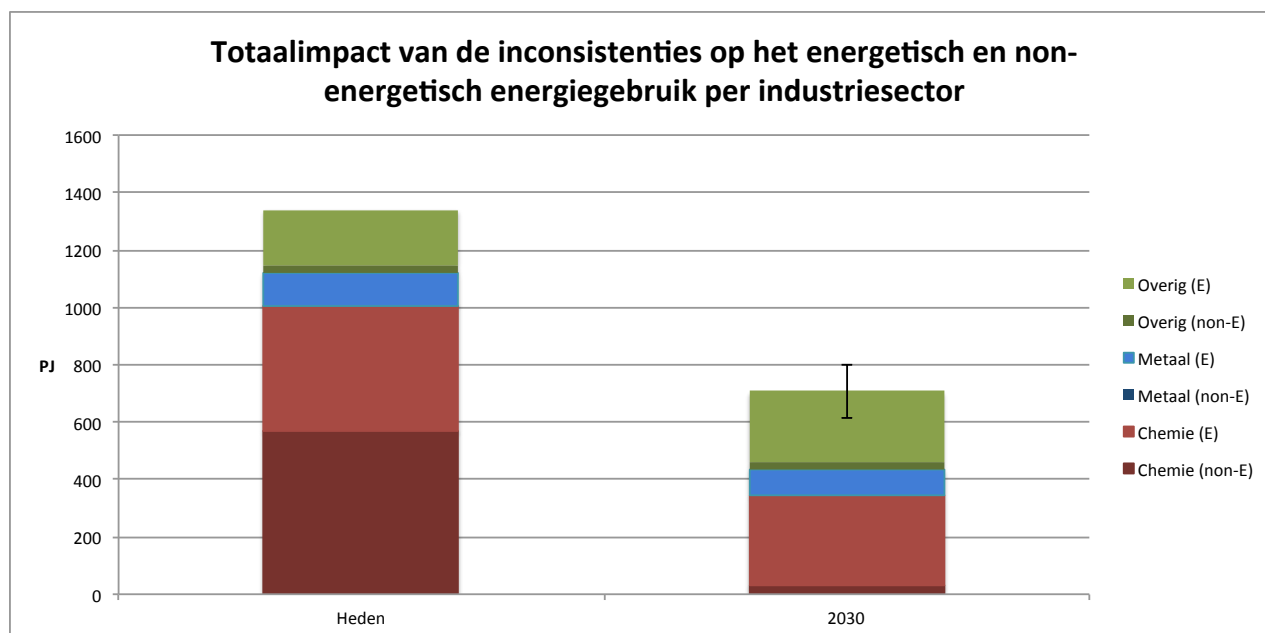


Figuur 19: Impact van trends op de industrie, overige omstandigheden gelijk blijvend; heden versus 2030 m.b.t. jaarlijks energie- en grondstofgebruik van de industrie.

De andere energievraag die elke volledig doorgetrokken trend tot gevolg heeft is weergegeven in figuur 19. In deze figuur is enkel rekening gehouden met de trends; verder is de situatie van 2030-2050 gelijk aan die van nu. Een combinatie van alle besproken trends kan leiden tot een reductie van het energetische energiegebruik van de industrie van ongeveer 530-720 PJ in de periode tussen 2030 en 2050. Hierbij neemt het totale energetische energiegebruik van de bestaande industrie af met ongeveer 160 PJ van 740 PJ naar 580 PJ; tegelijkertijd neemt het energetische energiegebruik toe als gevolg van de ontwikkeling van de ICT industrie, maar door onzekerheid is deze toename lastig te kwantificeren. Het non-energetische energiegebruik van de industrie neemt af met ongeveer 540 PJ van 600 PJ naar 60 PJ ²²¹. Dit betekent dat het huidige finaal gebruik in 2013 van

²²¹ Exclusief het non-energetische gebruik van de raffinaderijen ten behoeve van internationaal, buiten Nederland geconsumeerde brandstoffen voor transport

alle industrieën van 1,340 PJ²²² ongeveer halveert. Dit is dan ook waarschijnlijk de “fout” die gemiddeld genomen aanwezig zal zijn in energiestenari’s die deze trends niet expliciet meenemen voor de industrie.

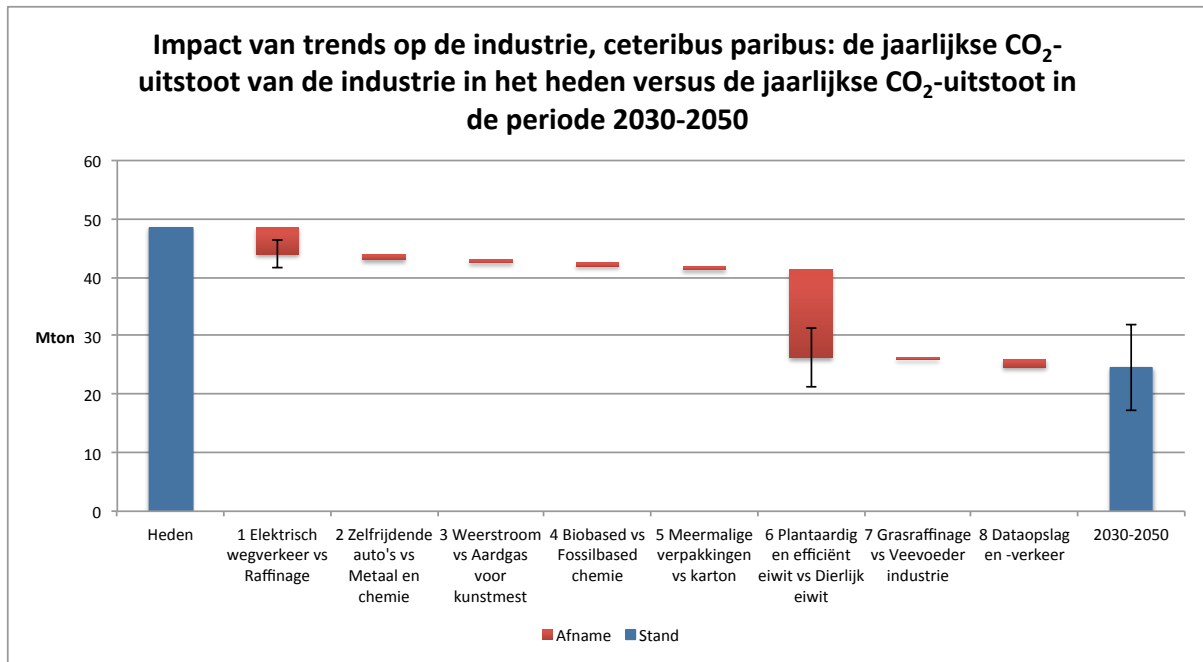


Figuur 20: Impact van inconsistentie op de energiestenari’s voor de industrie; heden versus de periode 2030-2050 m.b.t. energie en grondstofgebruik.

Deze trends hebben een grotere impact op sommige industrieën dan op andere. In figuur 20 is de totaalimpact op het energiegebruik per industrieseCTOR weergegeven. Hieruit wordt duidelijk dat met name voor de chemische industrie een grote reductie verwacht kan worden.

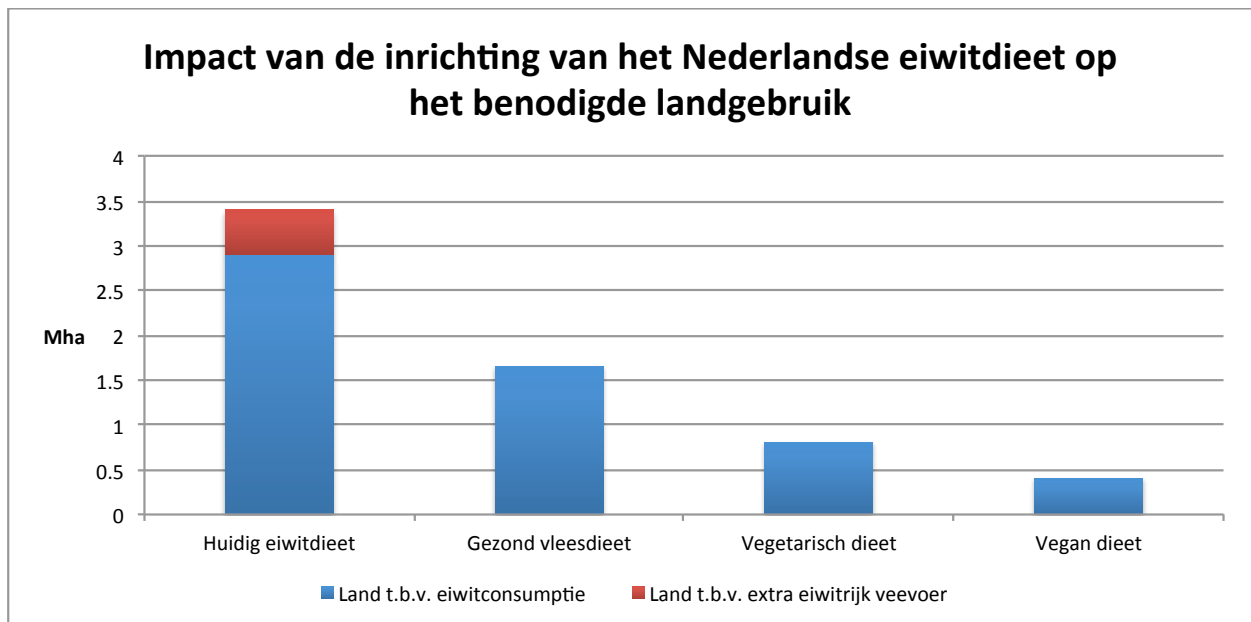
Door voornamelijk de elektrificatie van het wegverkeer, het slim inzetten van biomassa als grondstof en het gebruik van overschotten weerstroom (die er op basis van nationale ambities genoeg zullen zijn) daalt het (fossiel) energiegebruik sterk. Als datzelfde wegverkeer autonoom wordt en gedeeld wordt, dan neemt het energiegebruik in de chemische industrie, maar met name dat in de metaalindustrie ook af. Verder leidt digitalisering enerzijds een sterke toename van het energiegebruik van de centrale ICT, maar ook tot een verdere krimp van de papier industrie. Diezelfde industrie kan nog eens 30% van haar afzet kwijtraken als men consumentengoederen voortaan bezorgd in meermalige verpakkingen. Tot slot leidt enerzijds bewustwording omtrent voeding en anderzijds nieuwe technologieën als grasraffinage tot efficiëntere voedselketens en een gezondere invulling van onze eiwitbehoefte.

²²² Exclusief het non-energetische gebruik van de raffinaderijen ten behoeve van internationaal, buiten Nederland geconsumeerde brandstoffen voor transport



Figuur 21: Impact van trends op de industrie, overige omstandigheden gelijk blijvend; heden versus periode 2030-2050 m.b.t. jaarlijkse CO₂ uitstoot van de industrie.

Een dergelijke aanpassing in het Nederlandse voedingspatroon leidt samen met de elektrificatie van het wegverkeer tot de grootste besparing in de CO₂-uitstoot van de industrie (zie figuur 21). Dit opent daarnaast de weg om niet alleen CO₂-uitstoot te vermijden, maar ook, zoals in figuur 22 te zien is, veel landbouwgronden vrij te spelen.



Figuur 22: Indirecte impact van inconsistenties op de energiestenoren voor de industrie; heden versus periode 2030-2050 m.b.t. landgebruik.

Deze figuur toont de impact die een collectieve transitie naar een ander voedselpatroon kan hebben op het daarvoor benodigde landgebruik. Het is evident dat er een enorme scope voor verbetering is, indien het voeden van mensen met de juiste eiwitten het einddoel is. Grasraffinage draagt hier bijvoorbeeld ook sterk aan bij door de dierlijke eiwitketen efficiënter te maken. Het aldus vrijgekomen land biedt veel mogelijkheden, ook voor de industrie, aangezien ditzelfde land (deels) ingezet kan worden ten behoeve van biobased energie- en grondstoffen.

De hierboven beschreven impact van de 8 trends is uiteraard een *mogelijke* impact. Deze trends zijn ten behoeve van deze denkoefening volledig doorgetrokken om een mogelijke ofwel maximale impact te vinden. Het is natuurlijk onzeker in welke mate en met welke snelheid zij zich zullen doorzetten. Daarnaast zullen er zich waarschijnlijk ook andere ontwikkelingen en technologieën aandienen.

Dat neemt echter niet weg dat al met deze 8 exogene trends en de daaruit voortkomende klimaatkansen een structureel andere industrie voorstelbaar gemaakt kan worden. In een vervolgfase van dit onderzoek zal in overleg met de industrie en overheid onderzocht worden hoe deze klimaatkansen vervolgens in de industrie en landbouw verwezenlijkt kunnen worden. Indien de overheid de hier beschreven trends consistent faciliteert en de industrie er op anticipeert, dan zal de industrie competitiever worden en de energietransitie sneller verlopen. Tot slot zullen uit dit overleg waarschijnlijk ook weer nieuwe klimaatkansen voortkomen, die onze energietoekomst en ons begrip daarover zullen verrijken.

Slotnoten

Bezinning op het gebruik van biomassa als brandstof naar aanleiding van de inconsistencies

Bij klimaatverandering gaat het uiteindelijk niet om de jaarlijkse CO₂-uitstoot, maar om de hoeveelheid CO₂ die in de lucht aanwezig is. Het is evident dat praktisch iedere vorm van verbranding ten behoeve van het opwekken van energie een bijdrage levert aan de hoeveelheid CO₂ in de lucht.

Het administratieve besluit om biomassa in energiescenario's tegen nul of een geringe CO₂-uitstoot mee te tellen is niet juist. Dezelfde hoeveelheid energie opgewekt door een zonnepaneel of windmolen draagt niet bij aan de CO₂-uitstoot, terwijl de verbranding van bijvoorbeeld hout wel zorgt voor de uitstoot van CO₂ en andere schadelijke stoffen. Het argument dat dat hout geroid moet worden, omdat bossen anders verouderen en minder CO₂-opnemen, is natuurlijk juist. Maar dat betekent niet dat hout als brandstof ingezet hoeft te worden. Het kan namelijk ook als grondstof gebruikt worden zonder dat dit (direct) leidt tot CO₂-uitstoot.

We denken daarom dat een streven om de verbranding van biomassa te vermijden net zo belangrijk is als het streven om de verbranding van fossiele brandstoffen te vermijden.

Bezinning op wat we allemaal niet besproken hebben in dit rapport

Dit rapport behandelt diverse grote (technische) trends en mogelijkheden die elk een significante impact hebben op de industrie, maar mist ongetwijfeld andere trends en mogelijkheden om de industrie beter in dienst te stellen van de mensheid. Sommige trends zijn daarnaast slechts gedeeltelijk uitgewerkt. Binnen de discussie over dierlijk en plantaardig eiwit is bijvoorbeeld een mogelijke transitie van koemelk naar plantaardige melk niet uitgewerkt noch gekwantificeerd in dit rapport.

Een belangrijke nog niet besproken mogelijkheid ligt in aanpassing van het consumptiepatroon. Waarschijnlijk zal een cultuurverandering op het gebied van consumeren ook een grote potentiële verandering in de vraag naar goederen van de industrie geven. Veel van wat mensen kopen, is op dat moment wenselijk voor hen, maar lang niet altijd noodzakelijk en/of zinvol. De plastic tasjes die niet zomaar meer worden meegegeven in winkels zijn daarvan een eenvoudig voorbeeld. De aanpassing die de Nederlander moest doormaken in 2016 was voor de meesten eenvoudig. Maar ingewikkelder wordt het in onze cultuur als we het hebben over de schoenenkast vol schoenen, waarbij men met minder dan de helft van het aantal paren ook heel gelukkig kan zijn. Dit schoenenvoorbeeld is toepasbaar op veel van de artikelen die wij kopen.

Een hoofdstuk over noodzakelijk en zinvol consumeren is niet voor dit rapport geschreven, maar hier ligt nog een schone taak voor psychologen en sociologen. Hoe leiden aanpassingen in onze cultuur tot een andere consumptie en wat betekent dat voor de Nederlandse industrie?

We hopen van harte dat dit hoofdstuk snel geschreven wordt. Anders zal een deel van de efficiëntieverbetering en verbeterde welvaart van de consument die in dit rapport beschreven wordt gestoken worden in nog meer vakanties naar verre landen, grotere huizen en nog meer paren schoenen in een nog grotere schoenenkast. Daarmee is ook duidelijk dat dit rapport nog niet voldoende aandacht schenkt aan het vraagstuk van de rebound effecten, die er kunnen zijn als de Nederlandse bevolking gaat inspelen op eerder genoemde inconsistenties.

Het vraagstuk van recycling is ook onderbelicht gebleven in dit rapport evenals de impact van globale verschuivingen van productie van Europa naar o.a. China en India en de daardoor veroorzaakte vervuiling die een rechtstreeks gevolg is van onze consumptiedrift. Ook de gevolgen voor werkgelegenheid en versnelde afschrijving van “stranded assets” is onderbelicht gebleven. Kortom, de zoektocht naar een nieuw industriecomplex in een klimaatneutrale toekomst is pas gestart. Een vervolg dat verdieping geeft per onderwerp en nieuwe onderwerpen adresseert lijkt ons noodzakelijk voor een goed begrip van wat het industrieel complex kan zijn in de periode 2030-2050.

Appendix 1:

Impact van de inconsistenties op een tweetal scenario's: Urgenda 2030 en RLI 2050

In het eerste hoofdstuk van dit rapport hebben we laten zien dat de energievraag van de industrie in een tweetal scenario's met 100% hernieuwbaar (Urgenda 2030) en 95% CO₂-reductie (Rli 2050) verkeerd werd ingeschat. Deze twee scenario's hadden een finale energetische energievraag uit biomassa van 372 en 601 PJ voor de industrie om de respectievelijk het gewenste percentage hernieuwbare energie en de gewenste CO₂-reductie te kunnen halen. In het Urgenda 2030 scenario²²³ bedroeg de primaire energetische energievraag van de industrie 610 PJ (voornamelijk hout en groengas), in het Rli beeld met 95% CO₂-reductie²²⁴ 690 PJ.

In de voorgaande hoofdstukken hebben we laten zien dat het waarschijnlijk is dat de industrie de komende jaren gaat veranderen in structuur en omvang. Ook hebben wij daarbij geschetst wat de impact op de energiescenario's is. Hieronder volgt een technische recapitulatie per hoofdstuk alsmede een overzicht van de gevolgen voor de scenario's.

1. Elektrische voertuigen en raffinage.

Bij volledige elektrificatie van het wegverkeer valt 46% van het raffinageproduct weg. Wegens emissienormen zal de scheepvaart ook overstappen op andere brandstoffen. Afhankelijk van in welke mate dit laagzwavelig diesel of LNG is, is er bij raffinaderijen tussen de 30% van 55% van hun huidige afzetvolume nog nodig. Het energetisch gebruik van de raffinaderijen bedroeg in 2013 156 PJ. Daarvan zou dus tussen de 47 en 86 PJ overblijven (met de veronderstelling dat de productieprocessen voor alle brandstoffen even energie-intensief zijn). Dan zou het non-energetische aardoliegebruik van de raffinaderijen voor de productie van brandstoffen voor het Nederlandse wegverkeer dalen van 466 PJ naar 0 PJ.

2. Zelfrijdende auto's en metaalindustrie.

Indien 90% van de auto's verdwijnen, krimpt de staalproductie met 16% wanneer (vrijwel) alle auto's zelfrijdend en gedeeld worden, aangezien meer dan 18% van de staalproductie in Nederland t.b.v. de automobielenindustrie is. Dat zou leiden tot een reductie van het energiegebruik met 14 PJ bij gelijkblijvende efficiëntie. Echter zullen (meer) mensen ook meer gebruik gaan maken van de auto, en zal daardoor het aantal vervoerskilometers fors toenemen. Tevens komen er zeer veel materialen beschikbaar voor recycling uit die 90% auto's die niet meer nodig zijn. De chemische industrie (excl. raffinage en kunstmest, 92 PJ verbruik) levert veel producten voor de automobielenindustrie, naar schatting 10 procent. Als 90% van de vraag vanuit de automobielensector verdwijnt, vermindert het verbruik van de chemische industrie ook met 8 PJ.

3. Waterstof uit overschotten weerstroom voor ammoniakproductie.

Momenteel wordt waterstof uit aardgas gemaakt door aardgas reforming en vervolgens via het Haber-Bosch proces omgezet tot ammoniak. Als Yara waterstof

²²³ Zie <https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/155680>

²²⁴ Zie <https://pro.energytransitionmodel.com/scenarios/423882>

maakt door water te splitsen met overschotten elektriciteit, scheelt dat maximaal 55 PJ aan aardgas gebruik (50 PJ grondstof en 5 PJ brandstof). In heel Nederland zou het inzetten van power to gas ter vervanging van aardgas reforming in de kunstmestindustrie kunnen leiden tot een aardgas gebruik reductie van 77 PJ (67 PJ non-energetisch en 10 PJ energetisch).

4. Biobased versus fossil-based chemicals

Naar verwachting worden biobased en fossil-based grondstoffen slimmer ingezet, zodat complexiteit zoveel mogelijk behouden wordt en de grondstof het product gelijk. Dit leidt tot 32 PJ i.p.v. 36 PJ non-energetisch gebruik (10 PJ biobased, 22 PJ fossil-based) en 82 PJ i.p.v. 92 PJ energetisch gebruik door hogere yield en minder energie-intensieve processen. Door power-to-products is er naar schatting 20 PJ aan elektriciteitsoverschotten gereserveerd voor de chemische industrie in deze scenario's.

5. Meermalige verpakking voor op internet bestelde goederen

Als de Europese daling in de consumptie van grafisch papier van 10% per jaar doorzet, zal er van het daarmee geassocieerde energiegebruik van 6.6 PJ per jaar in 2014 in 2030 1.0 PJ overblijven (en 0.14 PJ in 2050). Als bovendien alle golfkartonnen verpakkingen vervangen worden door meermalige PP verpakkingen, verdwijnt 5.3 PJ aan energiegebruik voor de productie van golfkarton. Daarvoor in de plaats komt 0.27 PJ aan energie en 0.19 PJ aan grondstoffen, dat door een toename aan bestellingen met 3% per jaar zal groeien.

6. Dierlijk eiwit versus plantaardig eiwit

Nederlanders eten momenteel ongezonder grote hoeveelheden dierlijk eiwit. Gestimuleerd door de overheid en gemotiveerd uit eigen interesse zullen vele bewuster gaan eten - sommige blijven vrijwel dagelijks vlees eten maar nemen gezonde porties, andere worden flexitariër, vegetariër of veganist. Als ongeveer de helft van de mensen in de eerste categorie valt in 2030, 40% in de tweede en 10% in de laatste twee, neemt het energiegebruik in de vleesindustrie af van 4 PJ tot 2 PJ en dat in de zuivelindustrie van 19 PJ tot 17.8 PJ. Indien men collectief vegetariër wordt, neemt het energiegebruik in de vleesindustrie af met 3.4 PJ en dat in de zuivelindustrie met 1.2 PJ.

7. Grasraffinage versus de veevoederindustrie

In plaats van sojaschroot kan ook geraffineerd gras als eiwitrijk veevoer dienen. Lokale gras raffinage heeft een hogere eiwitopbrengst per ha (2.0 ton / ha) dan soja (1.4 ton /ha), is 4.4 maal energetisch efficiënter en is bovendien een nuttige toepassing van het Nederlandse grasland. Daarnaast kunnen uit het geraffineerd gras de aminozuren geïsoleerd worden, die vervolgens kunnen dienen als voeding voor varkens en mensen. Als daarna koeien graskoek of grassap gevoerd worden, neemt de eiwitomzetting qua efficiëntie toe. Een vervanging van het sojaschroot door geraffineerd gras leidt tot een daling van het energiegebruik binnen Nederland van 3.4 PJ.

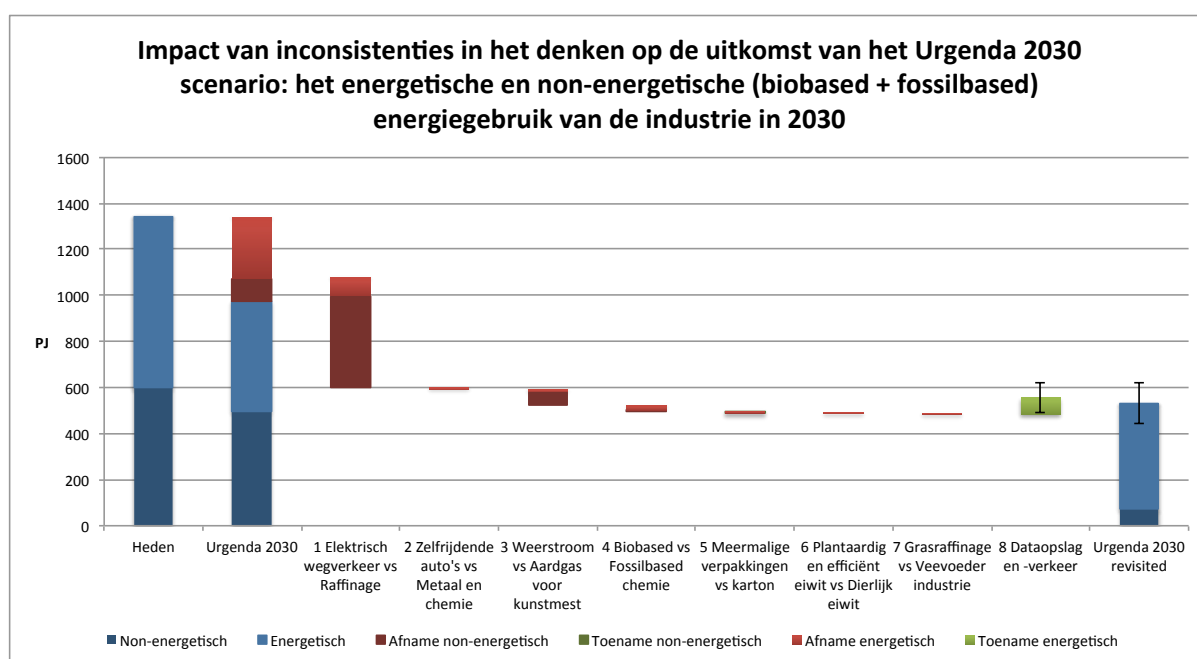
8. ICT wordt de “energie-intensieve industrie” van de toekomst

De datacenter capaciteit en het energiegebruik van de centrale ICT sector is de afgelopen jaren met ruim 20% per jaar toegenomen. De verwachting is dat dat door Pervasive Computing en het Internet of Things nog tot 2030 zal blijven toenemen,

doordat steeds meer apparaten toegang krijgen tot het internet en onderling gaan communiceren. De groei vlakt na 2030 waarschijnlijk af. Wel is een forse energiebesparing van 35% mogelijk door virtualization en het decommissioneren van ongebruikte servers. Dit alles zou leiden tot een energiegebruik (elektriciteitsgebruik) van deze sector van 25-154 PJ in 2030 en 35-300 PJ in 2050.

De impact van elk van deze inconsistenties op de scenario's die Quintel gemaakt heeft zijn middels de volgende grafieken (figuur 23 en 24) en tabellen weergegeven. De scope hiervan is het Nederlandse, nationale energiesysteem: het energieverbruik binnen Nederland en het non-energetische gebruik binnen Nederland. Een uitzondering hierop is het niet-energetisch gebruik van aardolie in de raffinaderijen: hierbij is het enkel het gebruik ten behoeve van de Nederlandse transport brandstoffen meegenomen in verband met de grootte van deze bijdrage.

Urgenda 2030 revisited

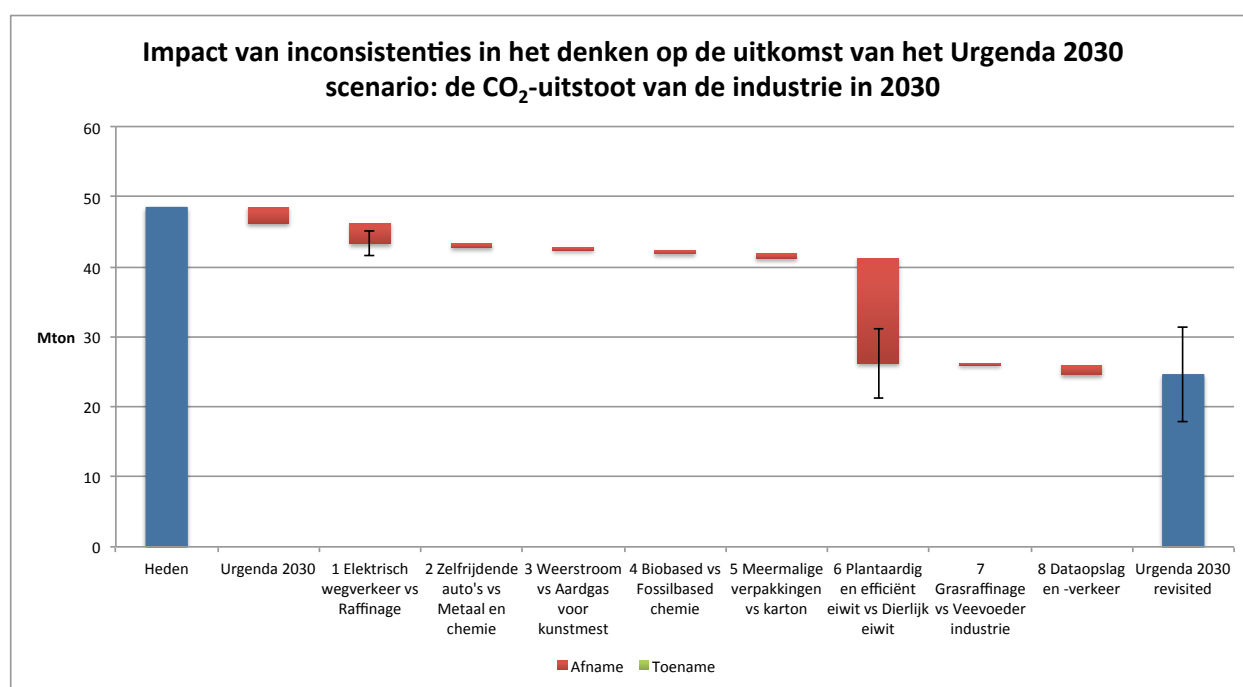


Figuur 23: Indirecte impact van inconsistenties op het jaarlijkse energiegebruik van de industrie in het Urgenda 2030 scenario; heden versus 2030.

#	Industrie	Inconsistentie Energetisch (e) en/of non-energetisch (n-e)	Huidig energiegebruik [PJ / jaar]	2030 zonder inconsistentie mee te nemen [PJ / jaar]	2030, met inachtnaam inconsistentie [PJ / jaar]	Energetische verandering veroorzaakt door inconsistentie [PJ / jaar] Dit betreft biomassa, tenzij anders vermeld.
1	Raffinage	EV en Raffinaderijen (e)	156	120	30 - 55	65 - 90
1	Raffinage	EV en Raffinaderijen (n-e)	466	400	0	400 (aardolie)
2	Metaal	Zelfrijdende auto's en metaalindustrie	87	51	42	9
2	Chemie	Zelfrijdende auto's en automobielin- dustrie (e)	9	7	1	6 (aardolie)
3	Kunstmest	Aardgas versus overschotten weerstrom (e)	26	18	11	7
3	Kunstmest	"" (n-e)	67	62	0	62 (aardgas)
4	Chemie	Biobased vs Fossilbased (e)	92	87	78 (58)	9 (29)
4	Chemie	""(n-e)	36	36	32	4 (aardolie)
5	Papier	Karton vs meermalig afname	23.6	17	8.4	8.6
5	Chemie	"" Toename (e + n-e)			0.73	-0.5 (aardolie)
6	Voedsel	Dierlijk versus plantaardig eiwit	23	23	19.8	3.2
7	Veevoer	Grasraffinage versus mengvoer	31	31	27.6	3.4

8	ICT	Datacenters en tele-communicatie	16	16	25 - 154	-9 tot -138 PJ (elektriciteit)
		Totaal	1019	877	265-383	464-613

In totaal gaat het in het Urgenda 2030 scenario om ongeveer 464-613 PJ netto vraagreductie naar fossiele brandstoffen en grondstoffen (en daarbinnen een 9-138 PJ hogere energievraag als gevolg van de “nieuwe” energie-intensieve industrie).



Figuur 24: Indirecte impact van inconsistenties op de jaarlijkse CO₂-uitstoot van de industrie in het Urgenda 2030 scenario; heden versus 2030.

RLI 2050 revisited

#	Industrie	Inconsistentie Energetisch (e) en/of non-energetisch (n-e)	Huidig energiegebruik [PJ / jaar]	2050 zonder inconsistentie mee te nemen [PJ / jaar]	2050, met inachtnaam inconsistentie [PJ / jaar]	Energetische verandering veroorzaakt door inconsistentie [PJ / jaar] Dit betreft biomassa, tenzij anders vermeld.
1	Raffinage	EV en Raffinaderijen (e)	156	156	47-86	70 -109
1	Raffinage	EV en Raffinaderijen (n-e)	466	673	0	673 (aardolie)
2	Metaal	Zelfrijdende auto's en metaalindustrie	87	25	20	5
2	Chemie	Zelfrijdende auto's en automobiel-industrie (e)	9	14	2	12 (aardolie)
3	Kunstmest	Aardgas versus overschotten weerstroom (e)	26	30	18	12
3	Kunstmest	"" (n-e)	67	97	0	97 (aardgas)
4	Chemie	Biobased vs Fossilbased (e)	92	92	82 (62)	10 (30)
4	Chemie	""(n-e)	36	52	46	6 (aardgas)
5	Papier	Karton vs meermalig afname	23.6	23.6	10.8	12.8
5	Chemie	"" Toename (e + n-e)			0.73	-0.5
6	Voedsel	Dierlijk versus plantaardig eiwit	23	23	19.8	3.2

7	Veevoer	Grasraffinage versus mengvoer	31	31	27.6	3.4
8	ICT	Datacenters en tele-communicatie	16	25	35-300	-10 - 275
		Totaal	1042,6	1250,6	299-623	686-892

In totaal gaat het in het RLI scenario 2050 met 95% CO₂-reductie om 902-963 PJ vraagreductie naar fossiele brandstoffen en grondstoffen in de huidige industrie gecombineerd met een 35-300 PJ hogere energievraag als gevolg van de “nieuwe” energie-intensieve industrie.

Appendix 2:

Berekeningen Papier- en kartonindustrie

Energiekosten productie 1 kg PP tas

Om uit te vinden wat de energiekosten zijn van het produceren van 1 kg aan verpakkingen van geweven PP, baseren wij ons op de energiekosten voor het produceren van 1 kg aan PP tasjes. Dit is een vrij goede benadering, aangezien het productieproces van de RePack verpakkingen²²⁵ zeer sterke gelijkingen vertoont met dat van PP tassen. Aangezien wij geen LCAs voor wovon PP tassen gevonden hebben, hebben wij gebruik gemaakt van een LCA over ungeweven PP tassen. Hierdoor zullen de gevonden waardes iets afwijken, maar niet zodanig dat er andere ordes van grootte bepaald worden.

Voor het produceren van 1 ton PP resin is 48.1 GJ aan grondstof en 28.6 GJ aan proces- en transportenergie nodig²²⁶. Voor het verwerken van PP tot tas van ongeweven PP van 80 g is in totaal 0.12 kWh oftewel 0.43 MJ nodig, bij een massa efficiëntie van 95%²²⁷. Dit staat gelijk aan $0.43 \text{ MJ} / 0.08 \text{ kg} = 5.4 \text{ MJ} / \text{kg}$ PP tas. Als we verder transport van de fabriek naar het distributiecentrum verwaarlozen, zijn de energetische kosten $28.6 \text{ MJ} / \text{kg} / 0.95 + 5.4 \text{ MJ} / \text{kg} = 35.5 \text{ MJ/kg}$. Dit zijn de kosten in het geval dat 100% virgin PP, oftewel bij 0% gerecycled PP. Eerder zagen we dat de energetische kosten voor het fabriceren van dozen uit voor 88% gerecycled papier 6.2 MJ / kg doos waren.

Energiekosten per oppervlakte verpakkingsmateriaal

Voor verpakkingen is het van belang om te kijken naar het getransporteerde volume en daarmee naar de totale oppervlakte aan verpakkingsmateriaal. Hierbij doen we dan de aanname dat de benodigde oppervlakte verpakkingsmateriaal om een bepaald object te verpakken gelijk is voor karton en PP. De ongeweven PP tas heeft een dichtheid van $100 \text{ g} / \text{m}^2$ ²²⁸; een kartonnen doos daarentegen heeft een dichtheid van $560 \text{ g} / \text{m}^2$ ²²⁹. Als we de energiekosten uitdrukken per oppervlakte (ready) verpakkingsmateriaal, bedragen die $6.2 \text{ MJ} / \text{kg} * 0.56 \text{ kg} / \text{m}^2 = 3.5 \text{ MJ} / \text{m}^2$ kartonnen doos (uit 88% gerecycled materiaal) en $35.5 \text{ MJ} / \text{kg} * 0.1 \text{ kg} / \text{m}^2 = 3.6 \text{ MJ} / \text{m}^2$ PP verpakking (uit 0% gerecycled materiaal).

Energiekosten productie Nederlands verpakkingsmateriaal

Voor de fabricatie van PP verpakking uit 0% gerecycled materiaal is $3.6 \text{ MJ} / \text{kg}$ oftewel $0.18 \text{ MJ} / \text{m}^2$ bij twintig maal gebruik nodig. Voor de fabricatie van golfkartonnen dozen uit 88% gerecycled materiaal bedragen de energiekosten $6.2 \text{ MJ} / \text{kg}$ oftewel $3.5 \text{ MJ} / \text{m}^2$. Dan zou

²²⁵ RePack (2014): Sustainability Life Cycle Assessment (SLCA) of RePack Packaging Bags.

²²⁶ ACC, Plastics Division (2011): Cradle-to-gate life cycle inventory of nine plastic resins and four polyurethane precursors. Revised final appendices. E-1 - E-10

²²⁷ Hong Kong Polytechnic University (2012): Carbon Footprint of Production Processes of Polypropylene Nonwoven Shopping Bags. p.13.

²²⁸ Hong Kong Polytechnic University (2012): Carbon Footprint of Production Processes of Polypropylene Nonwoven Shopping Bags. p.13.

²²⁹ FEFCO (2015): European Database for Corrugated Board Life Cycle Studies. P. 31.

het $0.86 \text{ Mton} * 6.2 \text{ PJ} / \text{Mton} = 5.3 \text{ PJ}$ kosten om de gevraagde totale oppervlakte aan golfkartonnen verpakkingsmateriaal $5.3 \text{ PJ} / 0.0035 \text{ PJ} / \text{km}^2 = 1500 \text{ km}^2$ te fabriceren. Als bij gelijke vraag in plaats van al het kartonnen verpakkingsmateriaal enkel PP verpakking gebruikt wordt, zou $1500 \text{ km}^2 * 0.00018 \text{ PJ} / \text{km}^2 = 0.27 \text{ PJ}$ nodig zijn om $0.27 \text{ PJ} / 3.6 \text{ PJ} / \text{Mton} = 0.08 \text{ Mton}$ aan verpakkingsmateriaal te produceren.

Grondstofkosten productie Nederlands verpakkingsmateriaal

Ten gevolg van het overstappen van kartonnen dozen naar PP verpakkingen neemt de non-energetische vraag naar aardolie en aardgas toe. Op basis van de $48.1 \text{ MJ} / \text{kg}$ aan grondstofkosten, 95% materiaalefficiëntie, 20 maal gebruik en een vraag van 0.08 Mton PP verpakking, is er $0.08 \text{ Mton} / 0.95 * 48.1 \text{ PJ} / \text{Mton} / 20 = 0.19 \text{ PJ}$ nodig. Dit is op energiebasis $\frac{1}{3}$ petroleum en $\frac{2}{3}$ aardgas²³⁰, zodat de non-energetisch vraag naar petroleum toeneemt met $\frac{1}{3} * 0.19 \text{ PJ} = 0.06 \text{ PJ}$ en die naar aardgas met $\frac{2}{3} * 0.19 \text{ PJ} = 0.13 \text{ PJ}$. Het heen- en weer zenden van de herbruikbare verpakking kost energie; echter is PP verpakking lichter dan karton en valt de resulterende toename meer dan weg tegen de afname aan verwerking van kartonafval.

Afzet Nederlands grafisch papier in Europa

In 2014 werd $0.34 * 2.8 \text{ Mton} = 0.95 \text{ Mton}$ aan grafisch papier afgezet, waarvan 84% buiten Nederland afgezet wordt. Daarvan gaat een deel ook Europa uit; op basis van getallen van de VNP is 59% tot 96% van de export bestemd voor binnen Europa²³¹. Stel 80% van de export is bestemd voor binnen Europa. Dan wordt er in totaal $0.84 * 0.8 * 0.95 \text{ Mton} + 0.16 * 0.95 \text{ Mton} = 0.79 \text{ Mton}$ aan grafisch papier binnen Europa afgezet.

Energetisch kosten productie papier per categorie

De papier- en kartonindustrie verbruikt in 2014 23.6 PJ om 3.0 Mton product te vervaardigen, waarvan 1.9 Mton verpakking, 1 Mton grafisch papier en 0.1 Mton hygiëne. Laten we aannemen dat de energetische kosten om grafisch papier en hygiëneproducten te produceren vrijwel gelijk zijn. De productie van karton kost meer energie, omdat dat vanuit geproduceerd papier gemaakt wordt. Als we de energie voor het omzetten van papier naar golfkarton uitdrukken als percentage van de energie voor het produceren van papier, bedraagt dat 130% ²³². Laten we dan al het verpakkingspapier als golfkarton beschouwen. Op basis van het bovenstaande kost de productie van golfkarton $(1.9 * 1.3) / (1.9 * 1.3 + 1.0 + 0.1) * 23.6 \text{ PJ} = 16.3 \text{ PJ}$. Dan zou de productie van grafisch papier en hygiëneproducten 6.6 PJ en 0.7 PJ , respectievelijk, kosten.

²³⁰ ACC, Plastics Division (2011): Cradle-to-gate life cycle inventory of nine plastic resins and four polyurethane precursors. Revised final appendices. E-1 - E-10

²³¹ Marge door de categorie 'overig', zie VNP (2015): Afzet verdeeld naar belangrijkste exportlanden.

²³² VNP (2012): Ketenkaarten voor de Papier- en Kartonindustrie. p.24



ENERGY TRANSITION MODEL

Independent, Comprehensive and Fact-based

