

STT 87

En toen ging het licht aan...

Transities naar een emissievrij energiesysteem

Soledad van Eijk

Stichting
Toekomstbeeld
der Techniek



Colofon

Redactie, projectleiding en tekeningen: Soledad van Eijk

Met medewerking van: Diverse auteurs

Tekst- en taalredactie: Annette Potting

Vormgeving en beeldbewerking: Ellen Bouma, Alkmaar

Drukwerk: Quantes, Den Haag

ISBN 978-94-91397-16-5

STT-publicatie nr. 87

NUR 961

Trefwoorden: Energie, technologische ontwikkelingen, toekomstvisie, maatschappij, klimaat, klimaatdoelstellingen, scenario's.

Beeldmateriaal: Foto's aan het begin hoofdstukken: istockphoto.com. Anderen vermeld onder of bij de figuur.

Het maken van deze publicatie kostte een hoeveelheid energie gelijk aan wel meer dan 596 tosti's.

Voor meer informatie zie: www.stt.nl/energie-voor-energie/



© 2017, Stichting Toekomstbeeld der Techniek, Den Haag

En toen ging het licht aan... Transitie naar een emissievrij energiesysteem (2017) van Stichting Toekomstbeeld der Techniek wordt auteursrechtelijk beschermd zoals vastgelegd onder de Creative Commons Naamsvermelding Niet Commercieel-Geen Afgeleide Werken 3.0 Unported licentie. U kunt dit werk toeschrijven aan Stichting Toekomstbeeld der Techniek / Soledad van Eijk (www.stt.nl), 2017. Bezoek <http://www.creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/nl> voor de volledige tekst van de licentie.

Stichting Toekomstbeeld der Techniek

Prinsessegracht 23, 2514 AP Den Haag

Postbus 30424, 2500 GK Den Haag

070-302 98 30

info@stt.nl

www.stt.nl

En toen ging het licht aan...

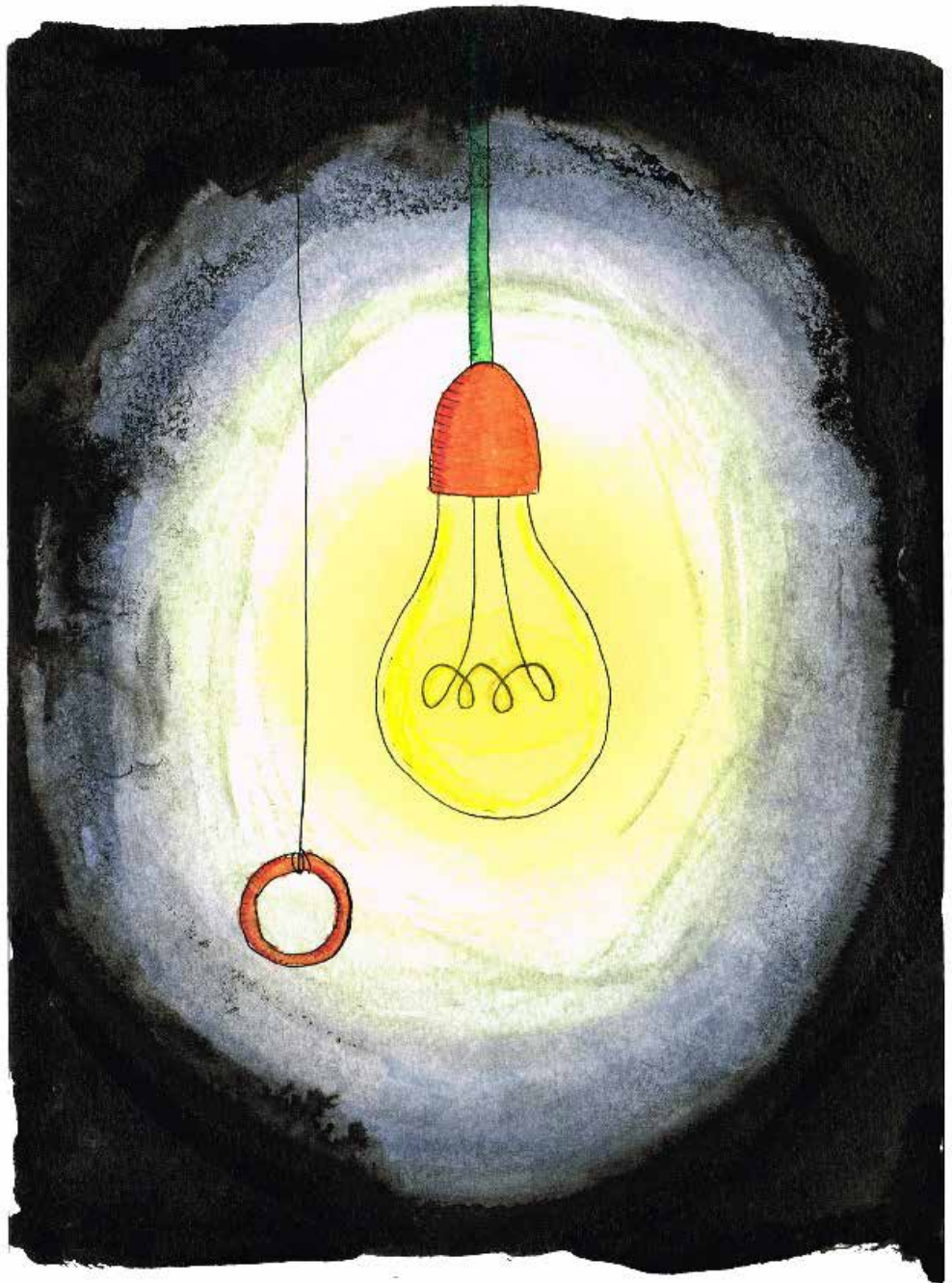
Transities naar een emissievrij energiesysteem

Soledad van Eijk

INHOUDSOPGAVE

Voorwoord	7
Samenvatting	8
Verhaal 2050 – En toen ging het licht aan...	10
Inleiding: De toekomst is vol energie	15
Het klimaat als drijfveer voor verandering	15
Energie is een hot topic	15
KADER: Energie en klimaatverandering	16
Energie is overal	21
Energie in de toekomst	23
Verkenningmethode: terugkijken vanuit de toekomst	23
Leeswijzer	26
Hoofdstuk 1: Technologische ontwikkelingen	29
Technologische ontwikkelingen rond energieopwekking	31
Interview: Claire de Wit – vriendin van Jules Holdbar	32
Vergezicht: Life on Mars	39
Technologische ontwikkelingen rond energietransport	42
Technologische ontwikkelingen rond energieopslag	44
Technologische ontwikkelingen rond energiegebruik	46
Vergezicht: WK voetbal 2058 in Niger en Mali	48
Interview: Marcel Huisman – transitie-manager bij ST@@L	51
Hoofdstuk 2: Scenario's – oorzaak en gevolg	53
KADER: Toekomstverkennen en backcasting	54
Trendvariabelen voor de toekomst	57
Scenario's voor 2050	58
Geschiedenis schrijven	61
KADER: Voorbeeld van een tijdlijn (uit workshop)	62
Vergezicht: De CO ₂ -neutrale circulaire elektriciteitscentrale	64
Verschillen in transitiepaden, de weg naar decentraal	65
Verschillen in transitiepaden, de weg naar centraal	66
Vergezicht: Intelligent samenleven	68
Leren van de toekomst	70
Vergezicht: Energierijk Thorium	71

Hoofdstuk 3: Klimaat van verandering	73
Uitdagingen genoeg	73
Steeds meer mensen	74
Interview: Luus Arroyo – ambtenaar energie en ruimtelijke ordening	77
Schaarste	78
Vergezicht: De groene snelweg	80
Wie heeft de macht?	81
Technologie als drijfveer voor macht	81
Onze eigen rol in het geheel	82
Investeren in energie	83
Vergezicht: Holo-halo's	84
Omgang met technologie	85
Technologie als hulpmiddel	86
KADER: Signals of Change	87
Interview: Jules Holdbar – jongeren bij de stembus	88
Vergezicht: De draadloze droom	89
Hoofdstuk 4: Aanbevelingen voor Nederland nu	91
Aanzetten tot beweging	92
Vergezicht: Onzichtbare regels	94
Energieke ideeën	98
Vergezicht: De grote verbindingen	99
Onze toekomst	102
Bijlagen	
A: Handleiding workshop, opstellen energiemanifest	104
B: Deelnemers	108
Over stichting toekomstbeeld der techniek	110
Referenties	114
Een woord van de auteur	118



VOORWOORD



De publicatie *En toen ging het licht aan...* neemt de lezer mee op weg naar een toekomstig energiesysteem. De transitie van Nederland naar een emissievrije energievoorziening brengt veel mogelijke verandervaden. In deze studie van Stichting Toekomstbeeld der Techniek komen zowel de technologische als juist ook de maatschappelijke aspecten aan de orde.

Samen met de deelnemers aan de workshops, de respondenten op de enquête, de leden van de stuurgroep en andere experts heeft Soledad inspirerende keuzes gemaakt uit het enorme universum van energie.

Zelf raakte ik enorm geïnspireerd door enkele minder voor de hand liggende fenomenen. Zo ontstaat er bij mensen die zonnepanelen laten installeren een gevoel van 'gratis energie' – en dit is nog sterker wanneer zij een huis kopen waar die panelen al op zitten. Wat doet dit met hun energiegelgedrag?

En wat moeten we met de zogenaamde 'trias energetica', een soort energiewet die voorschrijft dat de logische volgorde is: eerst isoleren en pas dan duurzamere energie toepassen. Stel dat duurzame energie veel goedkoper wordt dan isoleren, dan wordt een plek zonder zonnepaneel op het dak pas energieverspilling.

Anders omgaan met energie kan ook buiten het energiesysteem een groot effect hebben. Wat als bijvoorbeeld de zuinigste auto of bus met de beste chauffeur een heel lage bezettingsgraad heeft? Dan is de economische energie-efficiëntie van die rit toch heel erg laag. De introductie van de zelfrijdende auto als energiebesparende maatregel, maakt het tevens mogelijk om openbaar vervoer meer vraaggestuurd te maken. Gaat de zelfrijdende auto dan onze economie hervormen?

Stof tot overdenken en met elkaar in gesprek te gaan. Dat is precies wat deze publicatie beoogt. Dank aan Soledad, alle betrokkenen, en aan STT om dit project te kunnen realiseren.

Ik wens de lezer veel inspiratie toe,

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Ewald Breunese'. The signature is fluid and cursive, with a long horizontal stroke at the end.

Ewald Breunese
Manager Energietransities Shell

SAMENVATTING

Energie is een van de belangrijkste pijlers van onze huidige maatschappij en dit zal zo blijven. Vanuit dit oogpunt is deze verkenning van Stichting Toekomstbeeld der Techniek naar de toekomst van energie heel belangrijk. Door de verweving van energie met andere technologieën, is het een breed onderwerp, wat inkadering noodzakelijk maakt. Voor een groot gedeelte is deze inkadering bereikt door de klimaatdoelstellingen voor 2050 als uitgangspunt te nemen. Ongeveer driekwart van de uitstoot van broeikasgassen die verantwoordelijk zijn voor de opwarming van de aarde is afkomstig van ons huidige energiesysteem. Omdat klimaatverandering momenteel hoog op de internationale en nationale agenda staat, is er veel aandacht voor de toekomst van ons energiesysteem. Er is een groot aantal duurzame energie- en efficiëntie-maatregelen nodig om te zorgen dat de opwarming van de aarde niet boven de 2°C oploopt. Dit betekent dat er veel moet veranderen.

Een transitie naar een ander energiesysteem vraagt zowel technologische als maatschappelijke ontwikkelingen. Er vinden in de onderzoekswereld en het bedrijfsleven veel ontwikkelingen plaats die een bijdrage kunnen leveren aan een nieuw energiesysteem. Er is technologisch gezien namelijk al heel veel mogelijk, en in de toekomst nemen de mogelijkheden nog meer toe. Denk maar eens aan de impact die het zal hebben als alle oppervlaktes die zonlicht vangen, zonne-energie zouden opwekken. In het eerste hoofdstuk van deze publicatie een overzicht van ontwikkelingen op het gebied van energieopwekking, -transport, -opslag en -gebruik. Zoals verf die zonne-energie opwekt, draadloos opladen, stuwmeren in zee en autonome auto's.

Maar het zijn niet alleen nieuwe *technologieën* die zorgen voor veranderingen in ons energiesysteem. Het zijn vooral de *effecten* die ze hebben op de samenleving en ons dagelijks leven waardoor het toekomstbeeld compleet wordt. In scenario's op basis van een decentraal of centraal energiesysteem en een nationale of internationale aanpak is er gekeken naar de transitiepaden. Een belangrijke conclusie is dat in alle scenario's de regering het voortouw neemt bij het vormen van het uiteindelijke energiesysteem. Als we dit koppelen aan wat er nú nodig is om te zorgen dat we in 2050 een emissievrij energiesysteem hebben dan is het nodig dat de overheid een duidelijke visie vormt over het toekomstige energiesysteem.

Deze visie moet verder gaan dan de huidige uitspraken over percentages duurzame energie in 2023 en te bereiken efficiëntiedoelen in 2050. Er moet veel meer aandacht komen voor het gehele systeem. De overheid moet het voortouw nemen, maar wel in samenwerking met de burger en het bedrijfsleven om richting te kiezen en voorbereiden op mogelijke consequenties van deze keuzes. Zo moet er nagedacht worden over welke technologische ontwikkelingen nodig zijn en het onderzoek dat daar voor nodig is. Welke veranderingen zijn er nodig in overheidsbeleid? Heeft iedereen in Nederland in 2050 evenveel beschikking over energie in dit systeem, en als dit niet zo is zijn er dan acties die nu al genomen kunnen worden?

Een emissievrij energiesysteem in 2050 is een grote stap in de toekomst van energie, waar veel innovatie voor nodig is. Daarom is het van belang dat er nú al een beeld gevormd wordt van het gewenste energiesysteem. Want het is beter om nu een keuze te maken en later bij te moeten sturen dan dat we er in 2050 achter komen dat we de verkeerde weg zijn ingeslagen.

Hopelijk geeft deze publicatie u niet alleen informatie en inspiratie maar ook aanknopingspunten voor een energierijke toekomst!

Wilt u graag beelden zien bij deze publicatie? Deze vindt u in de film die speciaal is gemaakt voor deze publicatie:



<https://stt.nl/toen-ging-het-licht-aan>

Verhaal 2050

En toen ging het licht aan...

Verhaal over een mogelijke toekomst in 2050

2050: Jules haalt opgelucht adem, wie had ooit gedacht dat het in 2050 nog zo moeilijk zou zijn om je huis weer van elektriciteit te voorzien? Hij in ieder geval niet. Nu het licht weer aan is beginnen langzaam ook andere apparaten om hem heen tot leven te komen. De koelkast begint weer te brommen en hij voelt gelijk een luchtstroom – de ventilatie doet het weer. Jules gaat in zijn luie stoel zitten en kijkt wat om zich heen. Echt geluk kan je het niet noemen wat hij voelt, het is meer een soort opluchting. En terwijl hij daar zit denkt hij even terug. Wanneer was het eigenlijk allemaal begonnen, hoe heeft het toch zo ver kunnen komen? In de jaren '20 van de 21^e eeuw had Jules altijd veel belang gezien in de energietransitie☀️, iets doen aan klimaatverandering, en eigenlijk was dat nog steeds zo. Maar toen hij in 2025 zijn eerste huis kocht waren er toch andere zaken geweest die belangrijker leken...

2025: “Wat gaaf je eerste huis!” Jules en Claire stonden voor het huis, Jules had de sleutel in zijn handen en grijsde van oor tot oor. Claire, zijn beste vriendin, was vandaag meegekomen en nu stond hij daar. “Het is echt zo cool! Er zitten echt allemaal leuke snufjes in het huis! Zo werken de gordijnen op afstand en de lichten kan ik bedienen via mijn telefoon. Er is zelfs een slimme meter die met de wasmachine communiceert wanneer bijvoorbeeld m'n zonnepanelen veel stroom produceren en het slim is om precies dan de was te laten draaien!” Claire rolde met haar ogen, maar ondertussen ging Jules door. “En ik heb echt zulke gave dingen gezien voor de inrichting, wist je dat ze tegenwoordig holo-tafels verkopen?” Nu keek Claire echt een beetje meewarig, zelf had ze helemaal niets met hightech snufjes. Ze gebruikte bijvoorbeeld nog steeds een iPhone 8 – hopeloos ouderwets. Dus ze had echt geen idee waar Jules het over had. Maar Jules was anders dan zij, altijd al geweest. Nieuwste gadgets, nieuwste apps en nu dus... “Een holowat?” Nu was het Jules' beurt om met zijn ogen te rollen. “Het is echt zo gaaf, het is een tafel die je kan gebruiken als projector van hologrammen, touchscreens, draadloos opladen van je telefoon, en je kan het elke keer uitbreiden. En dan kan je er ook nog gewoon op eten.”

Zo was het jaren doorgegaan. Jules had een goede baan en een fascinatie voor hightech snufjes. Aan het eind van de maand betaalde hij netjes de rekeningen en spaarde alles wat hij over had voor zijn nieuwe holowatch of 3D-printer.

☀️“Als ik later een eigen huis heb, wil ik niet bij ieder buitje onder water lopen.”

Lees op pagina 88 een interview met Jules als hij voor de eerste keer mag stemmen.

☀️*“Het waarborgen en bewaken van de emissienormen kunnen we niet bij aannemers en verkopers leggen.”*

Lees op pagina 77 een interview met Luus Arroyo als ambtenaar energie en ruimtelijke ordening. medeverantwoordelijk voor de nieuwe plannen.

2050: Hij schrikt op, de deurbel brengt hem terug in het heden. Hij kijkt naar buiten en ziet Ayla staan. “Kom binnen”, zegt Jules. “Ik zat net even in gedachten over hoe het allemaal zo ver gekomen is. Ik had toch echt beter moeten nadenken toen ik jong was.” Ayla Treet is sinds een paar jaar Jules’ energieconsultant en heeft geholpen om vandaag weer de stroom aangesloten te krijgen. “Het is niet alleen jouw fout Jules. Als samenleving hebben we onvoldoende zien aankomen dat sommige mensen niet zo makkelijk konden voldoen aan alle regels, maar nu zijn we hard bezig om de problemen op te lossen.” Voor Jules blijft het wel dubbel want zij heeft toch maar makkelijk praten, ze verdient haar brood met zijn ellende...

2033: “Wat vind jij van de nieuwe plannen voor energieconsumptie?” ☀️ Claire zat bij Jules thuis aan tafel. “Ja echt top! Zelf houd ik al jaren bij de aankoop van spullen rekening met of ze zuinig zijn.” Dat is waar, Jules hield bij zijn aankopen rekening met de hoogste energienormen. “Denk je niet dat deze regels steeds verder zullen gaan? Want eigenlijk stoten we nog steeds meer CO₂ uit dan dat we hebben afgesproken?” Claire keek toch wat zorgelijk. “Ik denk dat ik dit jaar maar eens niet op vakantie ga en een afspraak ga maken met een aannemer.” Jules reageerde luchtig als altijd “Ach, zo ver hoeft ik niet te gaan”, zei hij, denkend aan zijn contract bij een groene energieleverancier en de paar zonnepanelen op zijn dak. Dat zat dus vast wel goed. “Zullen we nu eerst een 4D-film kijken?” vroeg Jules. “Ja, leuk!”

Toen Claire na de film naar huis ging had Jules toch een beetje een vervelend gevoel. Wat als Claire gelijk had en de regels steeds strenger zouden worden? Zou hij niet iets moeten doen...? De panelen op zijn dak waren toch al meer dan vijftien jaar oud, eigenlijk heeft hij geen idee wat voor rendement ze hebben... en om nou te zeggen dat het er mooi uitzag. Hij toetste wat in op zijn tafel en voor hem verscheen een gezicht. “Holo, graag informatie over de aanschaf van zonnepanelen.” Voor Jules verscheen een lijst aan informatie. De experts hadden gelijk gekregen en de prijs van zonne-energie was steeds verder gezakt, maar toch schrok hij een beetje. Gewone zonnepanelen waren relatief goedkoop, maar in de buurt had eigenlijk bijna niemand ze meer, en het vervangen van zijn hele dak met zonne-dakpannen zou toch behoorlijk in de kosten lopen. Dat kon hij op dat moment echt niet betalen, misschien toch iets om voor te sparen in plaats van al die snufjes te kopen. Had hij toen maar doorgezet en naar zijn onderbuikgevoel geluisterd.

2050: “Okay Jules, nu we weer stroom hebben is het denk ik tijd voor de volgende stap.” Ayla probeert informatie naar zijn tafel te swipen. ‘Not compatible’. “Ojee ik ben bang dat je holotafel niet meer kan omgaan met de nieuwste updates. Dan kijken we wel even op mijn scherm.” Wat een afgang, denkt Jules. Mijn hele leven alleen maar bezig met gadgets en dan uiteindelijk oude rommel in huis hebben staan. “De gemeente is akkoord gegaan met ons plan dus nu moeten we het gaan uitvoeren. Ik denk dat we een jaar of vijf nodig hebben om alle veranderingen aan je huis door te voeren.” “vijf jáár?” Jules ziet eruit alsof hij meteen door de grond kon zakken...

2039: *Energieresolutie aangenomen!!!* stond er met schreeuwerige letters op het nieuwsportal bij het winkelcentrum. Jules voelde een knoop in zijn maag, een gevoel dat hij de laatste jaren wel vaker had maar steeds weer wegduwde. Hij bleef even staan om te lezen wat er precies in het artikel stond. *De Tweede Kamer heeft vandaag een wet aangenomen waarin elk huishouden een toeslag moet gaan betalen aan de hand van het energielabel van de betreffende woning.* Hoe meer Jules las hoe beroerder hij zich ging voelen. De laatste jaren had hij weinig gedaan aan energierenovatie van zijn huis. De zonnepanelen op zijn dak voldeden nu zeker niet meer en die slimme meter van hem was allang niet zo slim meer. Thuis aangekomen ging hij op de bank zitten en keek een paar filmpjes voor de afleiding. Hij bleef hangen bij wat nieuwsberichten, die natuurlijk bijna allemaal gelinkt waren aan de energieresolutie die die dag was ingevoerd. Eén filmpje hield zijn aandacht wat langer vast. “Bij ons is Ayla Treet, gespecialiseerd in de energietransitie. Ayla kan jij ons misschien vertellen wat jij allemaal geregeld hebt voor ST@@L☀️ waardoor nu alle processen op elektriciteit draaien?” Wat volgde was een leuk en interessant item waarbij de nieuwste technologieën op het gebied van elektrificatie en energiebesparing voor de industrie voorbijkwamen. Aan het eind van het item keek Ayla opeens recht in de camera. “Het zijn niet alleen grote bedrijven die hulp kunnen gebruiken om de stap te maken naar een ander energiemodel. Ook particulieren en MKB'ers kunnen heel veel baat hebben bij het inschakelen van een energieconsultant. Zeker nu er voor consumenten ook een drijfveer is om te verduurzamen.”

2050: Eindelijk is Jules weer aangesloten op het energienet. Ayla heeft een hele lijst van actiepunten bij Jules achtergelaten die hij moet uitvoeren voor het behalen van een optimaal energielabel voor zijn huis. Als het goed is heeft zijn woning over vijf jaar een complete energierenovatie ondergaan.

☀️ “Bij ST@@L denken we dat duurzaamheid niet alleen zit in processen die draaien op duurzame energie.”

Lees op pagina 51 een interview met Marcel Huisman, de transitie manager van ST@@L.

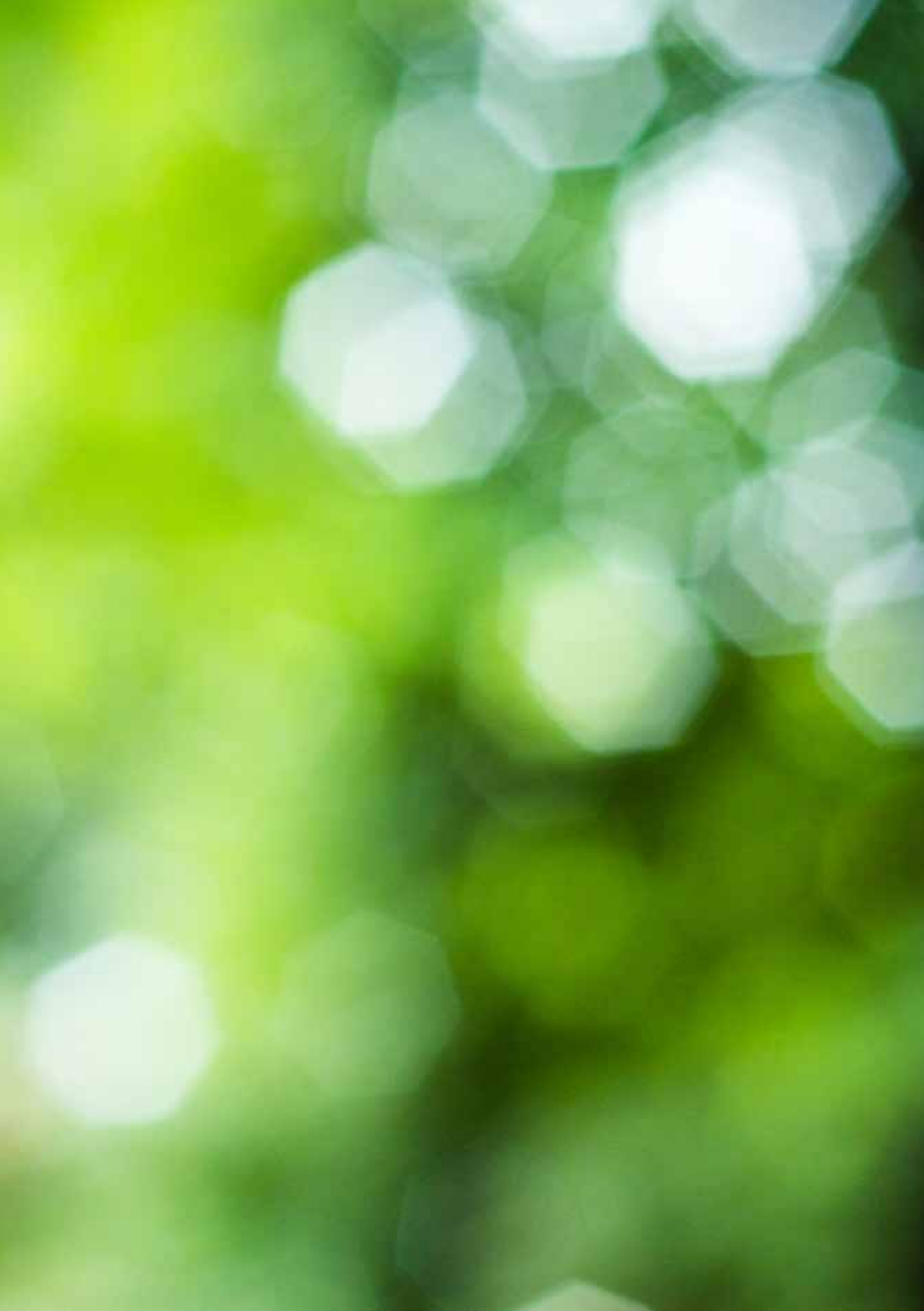
Ondanks de tijdelijke vrijstelling van de energietoeslag zal hij flink moeten letten op zijn uitgaven en energiegebruik omdat hij al zijn geld nodig zal hebben voor dit renovatieplan. Jules heeft ineens de behoefte om te bellen met zijn oude vriendin Claire. Ze hebben elkaar al zeker acht jaar niet meer gesproken. Toen Jules in de problemen begon te raken is hij zich langzaam gaan terugtrekken. “Hoi Claire, met Jules hier, hoe gaat het met je?”

2045: Hij kon er niet meer onderuit, zijn inbox zat vol met aanmaningen en herinneringen. “Met Ayla Treet, NRG4ALL, hoe kan ik u helpen?” “Goedemorgen met Jules Holdbar. Ik bel om... Nou ja het zit zo... Ik denk dat ik hulp nodig heb...” De laatste paar jaren was er veel veranderd in Nederland. Door maatregelen van de overheid zoals het sluiten van alle kolencentrales, het dichtdraaien van de gaskraan in Groningen, en de subsidies op zonne-energie en opslagtoepassingen was er een steeds decentraler energiesysteem ontstaan. Steeds meer bedrijven en gezinnen wekten volledig hun eigen energie op. Dit leidde ertoe dat de kosten voor gebruik van het centrale energienet behoorlijk toenamen, en dan daarbij nog de toeslag die Jules moest betalen omdat zijn huis in een laag energielabel zat. “Het is een neerwaartse spiraal”, zei Jules tegen Ayla. “En het is nu zelfs zo erg dat ik bang ben dat ik binnenkort de energierekening helemaal niet meer kan betalen.” “Beste Jules, wat vervelend allemaal. Ik denk dat het verstandig is als we binnenkort even afspreken. Schikt het volgende week dinsdag?”

2050: Nu Jules zijn problemen het hoofd geboden heeft, is het fijn om weer even met Claire gesproken te hebben, wat was dat lang geleden. Toch bijzonder hoe verschillend hun levens gelopen zijn. Claire die nooit zo van de gadgets was heeft nu een hypermodern huis. Nadat de eerste regels veranderden is ze meteen begonnen met het aanpassen van haar woning waardoor haar huis nu zelfvoorzienend en mega-efficiënt is geworden. Sinds een paar jaar maakt ze steeds meer gebruik van diensten die bepaalde producten vervangen. Zo koopt ze ‘schone was’ in en maakt ze gebruik van een locatiemanager die aan de hand van haar agenda bijpassend vervoer regelt. Het heeft haar nooit geïnteresseerd om de nieuwste spullen te hebben als ze maar gewoon haar ding kon doen. Best ironisch dat ze door deze houding nu altijd de nieuwste spullen heeft omdat haar producenten regelmatig haar apparatuur updaten om zo nog efficiënter te zijn. Jules is blij voor Claire en het helpt dat hij zelf ook weer vertrouwen heeft in de toekomst. Over vijf jaar zal hij uit de schulden zijn en weer onderdeel zijn van het systeem, maar voor nu is hij blij dat het licht weer aan is!

☀️ “Toen in 2016 het klimaatakkoord in Parijs werd ondertekend wisten we dat er veel moest gebeuren en ik vind het juist mooi om te zien hoe ons dat gelukt is.”

Lees op pagina 32 een interview met Claire de Wit over hoe zij is omgegaan met de energietransitie.



INLEIDING

DE TOEKOMST IS VOL ENERGIE

En toen ging het licht aan... Deze zin geeft de essentie weer van energie. Als we in een donkere kamer staan en de schakelaar omzetten dan zien we meteen wat energie voor elkaar kan krijgen. Maar energie is er niet zomaar. Bij het omzetten van de schakelaar gaat er elektriciteit lopen door de bedrading in je huis, vanuit kabels in de straten, via een verdeelstation waar hoogspanning omgezet is in laagspanning, en uiteindelijk vanaf een energieproductiebedrijf of windmolen of iets dergelijks. Een lange keten om te zorgen dat bij ons thuis het licht aan gaat.

Bij een toekomstverkenning van STT naar energie is het een logische vraag welke innovaties op het gebied van energie ons leven drastisch zullen veranderen. Het openingsverhaal op pagina 10 geeft een toekomstbeeld waarin door innovaties van alles mogelijk is geworden. Het laat echter ook een mogelijke toekomst zien waar de verwevenheid van klimaatdoelstellingen in ons energiesysteem van 2050 gevolgen heeft op sociaal en politiek vlak.

Het klimaat als drijfveer voor verandering

Het huidige energiesysteem draagt voor een groot gedeelte (ongeveer 75%) bij aan de uitstoot van broeikasgassen die verantwoordelijk zijn voor de opwarming van de aarde. Er zijn nationale en internationale afspraken gemaakt die als doel hebben te zorgen dat er veel minder broeikasgassen worden uitgestoten. Er zal dus veel moeten veranderen in het energiesysteem om de doelstelling van Parijs (2015) te halen (80-95% reductie van broeikasgas ten opzichte van 1990). Meer informatie over klimaatveranderingen en de rol die energie hierbij speelt, is terug te vinden in het kader *Energie en klimaatverandering* op pagina 16. Om te voldoen aan de doelstellingen is er *zowel* technologische *als* sociale innovatie nodig.

Energie is een hot topic

De wens om de wereldwijde klimaatdoelstellingen waaraan we ons gecommitteerd hebben te behalen, leidt tot grote belangstelling voor een overgang naar een ander energiesysteem (de energietransitie). Er zijn de laatste jaren vele rapporten uitgebracht over deze transitie naar een energiesysteem waarbij deze doelstellingen centraal staan.

Energie en klimaatverandering

Veel van de toekomstige veranderingen in deze publicatie komen voort uit innovaties op het gebied van energie. Die innovaties zijn erop gericht de energie-impact op klimaatverandering te verkleinen. Hoewel dit een verkenning naar de toekomst van energie en niet die van klimaat is, geven we in dit kader meer informatie over klimaatverandering en de rol van energie daarin.

Het klimaat en klimaatverandering

Om te beginnen is er een verschil tussen het klimaat en het weer. Het weer wordt bepaald door de omstandigheden die op korte termijn plaatsvinden terwijl het klimaat een beeld geeft van de gemiddelde weersomstandigheden over een langere periode. Het klimaat wordt vastgesteld over een periode van dertig jaar waarbij gekeken wordt naar temperatuur, vochtigheid, luchtdruk, wind, bewolking en neerslag.

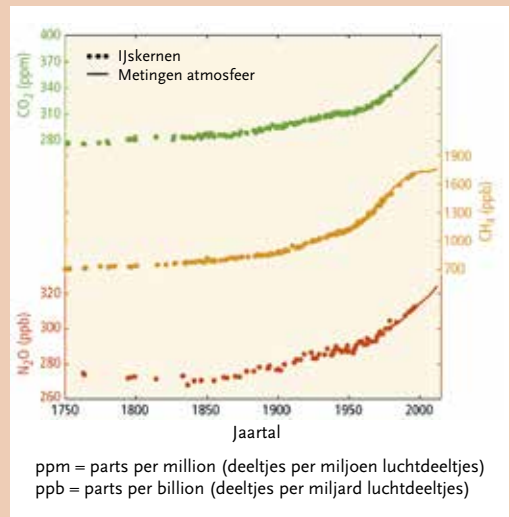
Het in 1988 door de Verenigde Naties opgerichte IPCC, the Intergovernmental Panel on Climate Change, doet al jaren onderzoek naar klimaatverandering en de impact van de mens op deze verandering. Hoewel het IPCC in de beginjaren nog wat gematigd was in zijn uitspraken zijn ze in het laatst uitgebrachte rapport (2013) erg stellig:

“Human influence on the climate system is clear. This is evident from the increasing greenhouse gas concentrations in the atmosphere, positive radiative forcing, observed warming, and understanding of the climate system” [IPCC, 2014]

Maar wat is klimaatverandering precies? Om te beginnen is verandering van het klimaat een continu proces dat sinds het ontstaan van de aarde plaatsvindt en zal blijven plaatsvinden. Een voorbeeld hiervan is de laatste ijstijd van ongeveer 21.000 jaar geleden. Een belangrijke factor in het klimaat is de temperatuur op de aarde. De temperatuur

op aarde wordt enorm beïnvloed door de zon en de samenstelling van gassen in onze atmosfeer. Deze gassen houden de warmte afkomstig van zonnestraling vast en staan ook wel bekend als broeikasgassen. Zonder deze gassen in onze dampkring zou er veel meer warmte terugkaatsen in de ruimte en de gemiddelde temperatuur op de wereld zou dan ongeveer -18°C zijn. Bij deze temperatuur zou er waarschijnlijk geen leven op onze planeet mogelijk zijn, door de broeikasgassen in de atmosfeer is de gemiddelde temperatuur op aarde 15°C .

Sinds het begin van de industriële revolutie – in Engeland rond 1750, in Nederland pas rond 1850 – gebruiken mensen steeds meer fossiele brandstoffen. Bij de verbranding van fossiele brandstoffen komen gassen vrij die, doordat ze opgeslagen lagen in de aardbodem, al eeuwen geen rol meer speelden in de CO_2 -kringloop. In figuur 1 is te zien hoeveel de belangrijkste broeikasgassen in onze atmosfeer zijn toegenomen sinds 1750. Dit heeft als gevolg dat er steeds meer warmte in de atmosfeer wordt vastgehouden en dit zorgt voor opwarming van de aarde. Deze



Figuur 1 Wereldwijde toename sinds 1750 van de hoeveelheid van de belangrijkste broeikasgassen in de atmosfeer [IPCC, 2014b]

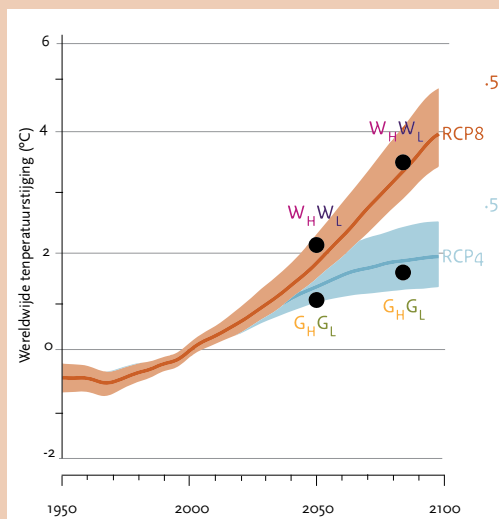
opwarming is te onderscheiden van natuurlijke klimaatveranderingen, omdat deze laatste plaatsvinden over duizenden jaren, en dus niet meetbaar zijn over een periode van dertig of zelfs honderd jaar.

Dat de toename van broeikasgassen in de atmosfeer echt de oorzaak is voor het opwarmen van de aarde is te zien in rekenmodellen voor de wereldwijde temperatuurstijging tot 2100: figuur 2 laat de stijging zien bij stabiliseren van de uitstoot van broeikasgassen (blauw) en bij toenemen van de uitstoot van broeikasgassen (rood). De zwarte punten geven weer wat de verwachte temperatuurstijging zal zijn voor Nederland [KNMI, 2015]. De opwarming van de aarde heeft meer gevolgen dan alleen het toenemen van de temperatuur. Door het opwarmen veranderen bijvoorbeeld windpatronen waardoor er extremer weer kan ontstaan. Ook de waterkringloop verandert waardoor er enerzijds extreme droogte kan ontstaan en juist meer neerslag op andere locaties. De veranderingen die gevolg zijn van de opwarming van de aarde bedoelen we als we het hebben over 'de' klimaatverandering.

Als we kijken naar Nederland dan zien we dat in de periode tussen 1901 en 2013 de gemiddelde temperatuur is toegenomen met 1,8°C, de jaarlijkse neerslag met 26% toegenomen is, en de zeespiegel stijgt met gemiddeld 1,8 mm per jaar (tussen 1993 en 2010 was de gemiddelde zeespiegelstijging zelfs 3,2 mm per jaar) [KNMI, 2015].

Consequenties

Klimaatverandering kan tot uiteenlopende gevolgen leiden. Door de complexiteit van het klimaat kunnen we veel hiervan niet eens voorzien. Maar er zijn wel een aantal consequenties die we met grote zekerheid kunnen verwachten. Het veranderen van de waterkringloop zal leiden tot grote problemen.



Figuur 2 Uitkomst modelberekeningen wereldwijde temperatuurstijging ten opzichte van 1981-2010. Blauw gaat uit van stabilisatie en rood is bij verhoogde uitstoot. De punten geven de temperatuurstijging in Nederland [KNMI, 2015]

Op sommige gebieden in de wereld zal het door extreme droogte steeds lastiger worden voedsel te verbouwen en in andere gebieden zullen overstromingen voor problemen zorgen. Ook ligt het in de verwachting dat de toenemende gemiddelde temperatuur het gevaar van besmettelijke ziektes vergroot en dit heeft gevolgen voor de gezondheid van de gehele wereldbevolking.

Ook in Nederland zullen we de gevolgen merken, zowel direct als indirect. Het stijgen van de zeespiegel vraagt om het verder versterken van onze kustlijn. Maar ook zullen door toenemende zware neerslag de rivieren steeds vaker veel water moeten verwerken, er moet dus gezocht worden naar oplossingen voor overstromingen. Want behalve de toenemende neerslag in Nederland, wordt de neerslag uit onze buurlanden via de rivieren hiernaartoe gebracht. Naar verwachting kunnen

we vaker extreem weer verwachten – zoals grote hagelstenen in de zomer – dit zal voor de land- en tuinbouw leiden tot veel overlast. Indirect zullen we de gevolgen merken van wat er in de rest van de wereld gebeurt. Bijvoorbeeld door het mislukken van oogsten zal er op meer locaties in de wereld honger ontstaan. De mensen op deze plekken moeten op een gegeven moment hun heil elders zoeken. Dit fenomeen doet zich nu al voor en bij grotere aantallen zullen deze klimaatvluchtelingen in andere landen, waaronder ook in Nederland, ondergebracht moeten worden.

Informatieve film klimaatverandering
[Min. lenM, 2014]:



<https://www.youtube.com/watch?v=z5qYDfRJTww>

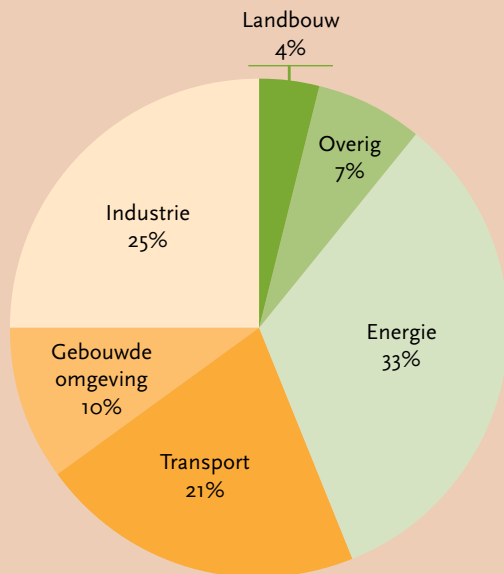
Impact van energie op het klimaat

Om te weten waarom klimaatverandering zo'n grote rol speelt in de toekomst van energie is het goed om te weten welk aandeel energie precies heeft in klimaatverandering. Door te kijken naar de uitstoot van broeikasgassen in verschillende sectoren is te bepalen welke rol energie speelt.

In 2015 stootte Nederland in totaal 196 megaton CO₂-equivalenten uit aan broeikasgas, waarvan 169 megaton CO₂. Als we kijken naar figuur 3 zien we dat de opwekking van elektriciteit 33% van de Nederlandse CO₂-uitstoot voor zijn rekening neemt. Een kwart is afkomstig uit de industrie – het merendeel hiervan is energie-gerelateerd. Met

Niet alle broeikasgassen hebben hetzelfde broeikaseffect. Om toch in één getal te kunnen uitdrukken wat de impact van de uitstoot is wordt er voor gekozen om voor alle broeikasgassen het broeikaseffect om te rekenen naar CO₂-equivalenten. De eenheid om de hoeveelheid CO₂ uit te drukken gebeurt vaak in megatonnen en één megaton CO₂ staat gelijk aan één miljard kilogram CO₂.

ons transport stoten we nog eens 21% CO₂ uit en voor de gebouwde omgeving komt daar nog zo'n 10% CO₂ bij die voornamelijk afkomstig is van de verwarming van woningen en kantoorpanden. Dan blijft er nog zo'n 11% CO₂ over die onder andere vrijkomt in de landbouwsector. Het komt er als je deze getallen optelt dus op neer dat



Figuur 3 In percentages weergegeven de CO₂-uitstoot voor Nederland in 2015 in percentages – Totale hoeveelheid CO₂ was 169 miljard kilo [Emissieregistratie, n.d.]

energie verantwoordelijk is voor meer dan driekwart van de uitstoot van broeikasgassen [Emissieregistratie, n.d.]. Dat energie een grote rol speelt bij klimaatverandering is dus wel duidelijk. Dat is de reden waarom in de toekomstbeelden in deze publicatie uitgegaan wordt van een emissievrij energiesysteem.

De afspraken over klimaatverandering

Doelstellingen met betrekking tot uitstoot en productie van duurzame energie zijn op verschillende niveaus vastgelegd. Hieronder een overzicht op nationaal [SER, 2013], Europees [PBL, n.d.] en wereldniveau [C2ES, 2015].

Voor Nederland is (op Europees niveau) vastgelegd om voor 2020 de uitstoot van broeikasgassen in Nederland te verminderen met 16% (t.o.v. 1990). In Nederland is in een energieakkoord vastgelegd dat er voor 2020 honderd petajoule (= 10^{15} joule) energie bespaard moet worden en 14% van de geproduceerde energie duurzaam is. Verder is afgesproken dat in 2023 het aandeel hernieuwbare energie 16% is en er

6.000 Megawatt aan windenergie aan land en 4.450 Megawatt windenergie op zee zal zijn.

Voor 2050 zijn de ambities op Europees gebied vastgelegd op 80 tot 95% reductie van de broeikasgassen. In Nederland is dit nog niet vertaald naar concrete doelen voor 2050, behalve dat in de transportsector de emissies 60% lager moeten zijn dan in 1990.

In het verdrag van Parijs hebben zo goed als alle landen van de wereld zich eraan gecommitteerd om de opwarming van de aarde in 2050 te beperken tot maximaal 2°C, met de intentie om dit zelfs onder de 1,5°C te houden. Ook is afgesproken om bindende overeenkomsten per land te maken, deze elke vijf jaar te vernieuwen en de voortgang aan elkaar te rapporteren. Verder is de ambitie uitgesproken voor een emissiehandelsstelsel en het ter beschikking stellen van kapitaal voor ontwikkelingslanden om te helpen bij het behalen van doelstellingen.

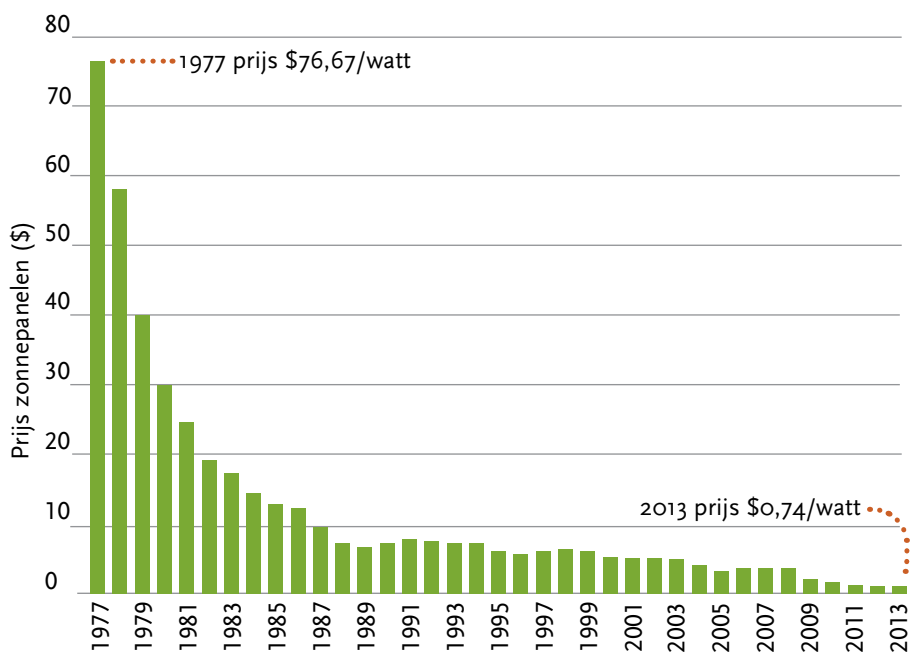
Deze rapporten komen onder andere van de overheid om hun plannen te laten zien [EZ, 2016; EZ, 2016b], van onderzoeksinstituten die doorrekenen wat de huidige stand van zaken is in de energietransitie [ECN, 2016], en van Ngo's die willen laten zien dat het mogelijk is om de transitie sneller en rigouzeuzer in te zetten [Greenpeace, 2015; Urgenda, 2014; Urgenda, 2010]. Daarnaast zijn er rapporten die op specifieke onderdelen van de energietransitie ingaan. Zoals wat de toekomst van de Nederlandse industrie zal zijn in dit systeem [Quintel, 2016], en welke ontwikkelingen in de gebouwde omgeving of in de bouw relevant zijn. [Taskforce bouwagenda, 2016].

In de rapporten van de Raad voor de leefomgeving en infrastructuur *Het Rijk zonder CO₂* [Rli, 2015] en van de Adviesraad voor wetenschap, technologie en innovatie *Oppakken en doorpakken* [AWTI, 2016] wordt kritisch gekeken naar de huidige maatregelen voor het behalen van de klimaatdoelstellingen in 2050. Kort gezegd is de conclusie van deze rapporten dat er nú meer geïnvesteerd dient te worden om de doelstellingen in 2050 te halen.

“Het energiesysteem is zo complex en de onzekerheden in de markt zo groot dat het afzonderlijke marktpartijen waarschijnlijk niet gaat lukken zonder een vorm van coördinatie de transitie te maken naar een low of zelfs zero-carbon energievoorziening” – Oppakken en doorpakken [AWTI, 2016].

In deze verkenning wordt niet gekeken naar de haalbaarheid van de doelstellingen met het huidige beleid. Het bevat geen berekening over hoeveel windmolens, zonnepanelen of kolencentrales met CCS (carbon capture and storage = CO₂-afvang) er nodig zijn om in 2050 te kunnen voldoen aan onze energievraag. In deze publicatie staat het toekomstig energiesysteem centraal, waarbij klimaatdoelstellingen bindend zijn en zowel technologische als maatschappelijke vraagstukken van belang zijn. Hieruit volgt de vraag op welke manier deze doelen behaald kunnen worden. Welke technologische en sociale innovaties zijn nodig, welk overheidsbeleid past hierbij en gaat het naleven van de klimaatdoelstellingen ten koste van andere ontwikkelingen?

De toekomst van energie wordt natuurlijk niet alleen bepaald door beperkingen. Er zijn vandaag de dag al technologische ontwikkelingen die laten zien dat



Figuur 4 Prijsontwikkeling van zonne-energie in \$/watt sinds 1977 [The Economist, 2012]

er meer mogelijk is dan tot voor kort werd aangenomen. Neem bijvoorbeeld de ontwikkelingen op het gebied van zonne-energie. Door innovatie en grootschalige productie neemt de prijs steeds verder af (zie figuur 4). Is het mogelijk dat deze ontwikkeling nog verder gaat en dat energie in de toekomst uiteindelijk zo goedkoop wordt dat voor de consument het beeld ontstaat dat energie gratis is? Op dit speelveld gaat deze publicatie in, enerzijds onderzoekend wat er nodig is om de doelstellingen te behalen, anderzijds kijken naar de kansen die nieuwe innovaties bieden.

Energie is overal

Momenteel leven we in een tijdperk waar technologie alom aanwezig is en er is weinig reden om aan te nemen dat dit in de toekomst zal veranderen. Of het gaat om apparaten in huis of in de industrie, of om vervoersmiddelen, overal is energie de drijvende kracht. Energie is nodig voor de ontwikkeling en het gebruik van alle technologische toepassingen. Dit illustreert het belang van energie, maar geeft nog niet aan wat energie nu precies is.

Energie omvat meer elementen dan in deze publicatie aan de orde komen. Want energie is ook hoe wij mensen voedsel als brandstof gebruiken en omzetten naar beweging en (energie voor) nadenken. Deze vorm van lichamelijke energie komt nog steeds tot uiting in de uitdrukking van het vermogen van een auto in pk's, wat staat voor de hoeveelheid paardenkracht die deze auto kan omzetten in beweging.



Het woordenboek gaat uit van het ruimst denkbare begrip van energie. In deze publicatie bedoelen we met de term energie het hele systeem dat betrokken is bij het genereren van beweging, warmte en licht. In de publicatie *Rijk zonder CO₂* [Rli, 2015] wordt energie zelfs in vier functies verdeeld. Energie kan gebruikt worden voor warmte.

1. Deze warmte kan een relatief lage temperatuur hebben zoals bij het verwarmen van onze huizen en kantoren en om op te koken.
2. Warmte kan in veel hogere temperaturen een rol spelen, zoals bijvoorbeeld bij de productie van staal.
3. In de transportsector wordt energie omgezet in beweging.
4. Als laatst is elektriciteit een energiedrager die gebruikt wordt voor apparatuur en verlichting.

Voor die verschillende functies zijn er systemen nodig om de functionaliteit te ondersteunen. Deze systemen regelen de productie, transport en opslag en zorgen ervoor dat de energie daar komt waar die nodig is. Voor verschillende energiedragers zijn er verschillende ketens, zie onderstaande kaders. Maar deze moeten samen functioneren als één energiesysteem.

Versimpelde weergave van de van de windenergieketen: Wind wordt door windmolens omgezet naar elektriciteit. Deze elektriciteit komt via hoogspanningskabels bij een verdeelstation terecht en wordt vanaf hier met laagspanningskabels naar de plaats gebracht waar deze gebruikt worden voor licht, beweging of warmte.

Versimpelde weergave van de brandstofketen: Ruwe aardolie wordt omhoog gepompt uit de grond en vervolgens via grote pijpleidingen naar een raffinaderij gebracht. Hier wordt de olie verwerkt tot verschillende brandstoffen (benzine) en grondstoffen (nafta, een grondstof voor de productie van plastic) die geschikt zijn voor gebruik. De brandstof moet vervolgens over water of via het wegennet getransporteerd worden naar een verkooplocatie. Uiteindelijk wordt bijvoorbeeld benzine in de auto getankt en gebruikt om auto's in beweging te zetten.

Energie in de toekomst

Ons huidige energiesysteem is complex en er spelen vele belangen. De consument wil zekerheid van levering en betaalbaarheid; partijen die energie leveren willen winst maken; en dit alles mag geen negatieve invloed uitoefenen op het milieu. In de toekomst is het aannemelijk dat het energiesysteem alleen maar complexer gaat worden doordat er meer manieren bijkomen waarop we energie gaan opwekken, opslaan, omzetten en transporteren. Er zullen andere spelers op de markt komen zoals coöperaties, en er zullen spelers verdwijnen (kolencentrales). Er zullen regels komen over uitstoot, zoals er nu bijvoorbeeld al geen oude en ook nieuwe diesel-auto's in de binnenstad mogen rijden van sommige grote steden. En nieuwe ontwikkelingen op het gebied van digitalisering zullen een belangrijke rol gaan spelen [STT, 2017; STT, 2016].

Ook zullen er technologieën komen die dezelfde functie hebben als nu, maar met een andere vorm van energiegebruik. Neem de auto als voorbeeld. De functionaliteit van de auto zal niet snel veranderen, deze zal ons nog altijd van A naar B vervoeren. De manier waarop de auto werkt zal wel veranderen. Ze zullen bijvoorbeeld in plaats van het verbranden van fossiele brandstoffen gebruikmaken van waterstof of elektriciteit, en in het laatste geval misschien zelfs opladen via het wegdek.

Verkenningmethode: terugkijken vanuit de toekomst

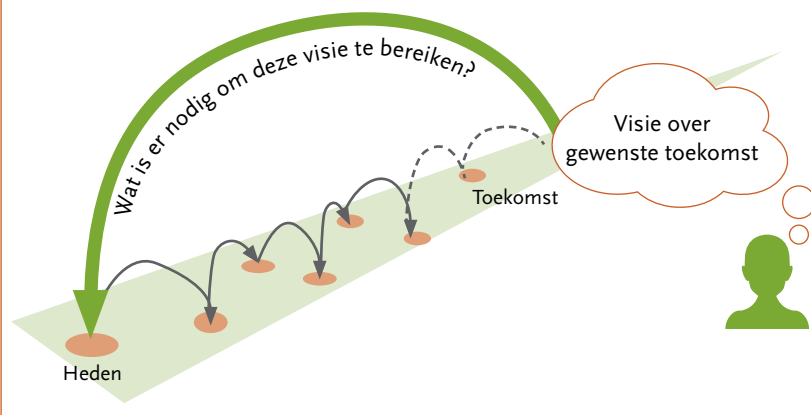
Of er in 2050 overall decentraal energie opgewekt wordt of dat er kernfusiereactoren zijn die ons land van energie voorzien, wordt bepaald door technologische ontwikkelingen en (maatschappelijke) keuzes die plaatsvinden in de tussenliggende jaren. Maar hoe komen we erachter wat er noodzakelijk is om in 2050 een energiesysteem te hebben dat voldoet aan onze wensen? Om deze vraag te beantwoorden is in deze toekomstverkenning ervoor gekozen om te werken met de onderzoeksmethode van backcasting.

Backcasting wordt vaak toegepast wanneer er een duidelijke wens ligt voor de toekomst en er een beeld moet komen van wat er moet gebeuren om dit te bereiken. In figuur 6 is schematisch weergegeven welke stappen er nodig zijn om een backcastingstudie uit te voeren. Meer informatie over toekomstverkennen en backcasting is te vinden op pagina 54: *Toekomstverkennen en backcasting*.

In deze studie hebben we de backcastingmethode toegepast in een aantal workshops 'Geschiedenis schrijven'. Een diverse groep deelnemers heeft vanuit verschillende scenario's voor 2050 teruggekeken naar hoe de aanloopperiode naar

Stappen in het backcastingproces

1. Begin met het eindresultaat in gedachten.
2. Denk van daaruit terug naar het nu.
3. Bedenk de gebeurtenissen (stap voor stap) die moeten plaatsvinden om tot realisatie van het idee te komen.



Figuur 5 Grafische weergave van de stappen van backcasting

deze scenario's eruit zou hebben gezien. De deelnemers moesten bedenken welke gebeurtenissen er de voorafgaande 35 jaar aanleiding waren om uit te komen op het toegewezen scenario. Naast de 'wat'-vraag was ook van belang waarom deze veranderingen plaatsvonden en welke partij de belangrijke schakel was in deze verandering. De resultaten van deze workshops komen op verschillende plaatsen in deze publicatie terug.

Naast de workshops is voor deze publicatie informatie verkregen door literatuuronderzoek, waaronder rapporten over klimaatverandering en de transitie van het energiesysteem. Met experts uit het bedrijfsleven, wetenschap en de overheid is gesproken over (technologische) ontwikkelingen op het gebied van energie. Om ook een breder publiek te bereiken is een enquête uitgevoerd met 125 deelnemers.

LEESWIJZER

Deze publicatie bestaat uit vier hoofdstukken die samen een beeld geven van de mogelijkheden die in de toekomst van energie spelen.

Hoofdstuk 1: Technologische ontwikkelingen

In dit hoofdstuk worden informatie en achtergronden gegeven over technologische ontwikkelingen die het energiesysteem kunnen veranderen. Het gaat hier om bestaande technologieën en innovaties die in de toekomst verwacht kunnen worden. De andere hoofdstukken verwijzen met enige regelmaat naar technologieën die in dit hoofdstuk beschreven staan.

De hiernavolgende hoofdstukken gaan in op de energietransitie. Welke mogelijkheden biedt de toekomst van energie voor het behalen van de klimaatdoelstellingen.

Hoofdstuk 2: Scenario's – oorzaak en gevolg

Hier komen de resultaten van de backcasting-studie aan bod. Aan de hand van vier scenario's die allemaal uitgaan van een emissievrij energiesysteem is er gekeken naar transitiepaden die tot deze scenario's geleid hebben. Er is per scenario gekeken naar de rol van technologie, veranderingen in de maatschappij en de verschillende rollen van de overheid en de markt. Hierna is gekeken naar de overlap tussen verschillende transities en wat de lessen zijn die hieruit geleerd kunnen worden.

Hoofdstuk 3: Klimaat van verandering

Dit hoofdstuk gaat in op de mogelijke uitdagingen die we onderweg naar de toekomst tegen zullen komen. Enerzijds gaat het daarbij om de rol van de burger in een maatschappij in transitie. Kan en moet de burger zijn gedrag rondom energie veranderen in de toekomst? En kan technologie deze verandering faciliteren? Ook wordt er gekeken naar de grote uitdagingen in de wereld – de 'Grand Challenges' [STT, 2014] die een grote impact kunnen hebben op ons energiesysteem – en naar de mogelijkheden om hierop te anticiperen.

Hoofdstuk 4: Aanbevelingen voor Nederland nu

De publicatie wordt afgesloten met de vraag wat er te leren is uit de verschillende toekomstscenario's en uitdagingen. Omdat het huidige politieke beleid voor 2050 is gericht op het halen van de klimaatdoelstellingen [SER, 2013], moeten er nú

maatregelen genomen worden en moet er nagedacht worden over de toekomst van energie. In een enquête werd onderzocht hoe Nederlanders de toekomst van energie en de rol van technologie hierin voor zich zien, en wat dit betekent voor de aanpak die gekozen moet worden. De resultaten van deze enquête worden gebruikt om de conclusies en aanbevelingen in dit hoofdstuk kracht bij te zetten.

Intermezzo's

Op verschillende plaatsen in de publicatie staan intermezzo's die een blik in de toekomst geven. Er zijn **interviews** die een beeld geven van oorzaak en gevolg van beslissingen rondom het energiesysteem. Deze zijn gekoppeld aan het openingsverhaal *En toen ging het licht aan*.

Er zijn ook **vergezichten**, bedoeld om de lezer te laten zien wat er nog meer mogelijk is op gebied van energie nadat de klimaatdoelstellingen behaald zijn. Omdat de inhoudelijke hoofdstukken vooral ingaan op behalen van de klimaatdoelstellingen en technologische ontwikkeling gericht op efficiënter omgaan met en duurzamer opwekken van energie, komen andere verwachte ontwikkelingen die een grote rol in de toekomst van energie zullen spelen minder aan de orde. Dit komt omdat ze niet bijdragen aan het behalen van de klimaatdoelstellingen.

Input voor de vergezichten is aangeleverd door leden van de stuurgroep met de bedoeling om de lezer te laten zien wat er nog meer mogelijk is op gebied van energie in de toekomst.

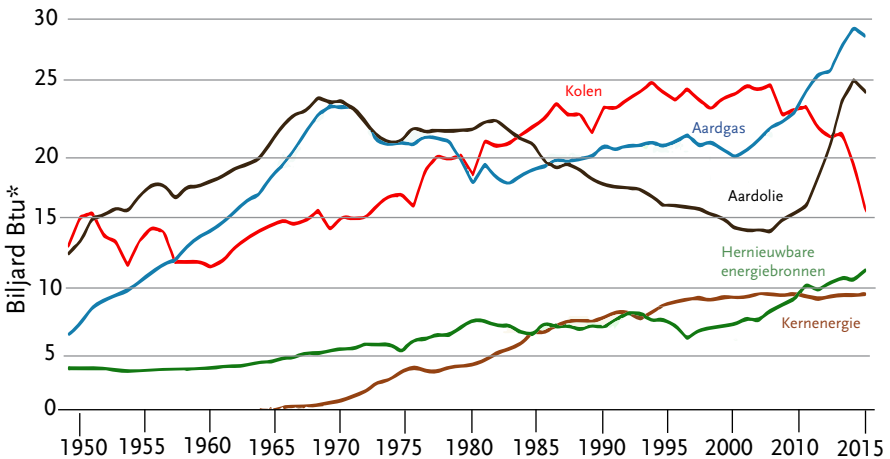
Verder is in deze publicatie een **tijdljn** onderaan de pagina's te vinden. De tijdljn geeft "wat-als"-mogelijkheden om de lezer uit te dagen om na te denken over de verschillende wegen naar een emissievrij energiesysteem en over gevolgen van keuzes die we in de komende jaren moeten maken.



HOOFDSTUK 1

TECHNOLOGISCHE ONTWIKKELINGEN

Sinds de ontdekking van het vuur is energie voor de mens een belangrijke pijler voor onze technologische ontwikkelingen. Het omzetten van warmte in beweging (stoom) gaf in de negentiende eeuw het startsein voor de industriële revolutie waarbij steeds meer processen gemechaniseerd en geautomatiseerd werden. In de loop der tijd zorgde deze automatisering ervoor dat er bij industriële bedrijven lopende banden en machines kwamen die het zware tilwerk konden doen, transport gebeurde in plaats van met paarden door stoomtreinen en later auto's. Later werd er in woonhuizen elektra aangelegd en nog later centrale verwarming. In een enorm tempo kwamen er nieuwe technologieën op de markt, variërend van communicatiemiddelen zoals de telefoon tot ruimtevaarakketten. Dit alles heeft geleid tot een enorme toename van energiegebruik, zie figuur 6. Momenteel is de voornaamste bron voor onze energie nog steeds fossiele brandstof, maar daar begint langzaam verandering in te komen door de opkomst van duurzame energiebronnen.



Figuur 6 Toename van gebruik van energiebronnen sinds 1949 in Amerika [EIA, 2015]
 * Btu = Britisch thermal unit, 1 Btu komt ongeveer overeen met 1,06 kJ

Er is nog lang geen einde in zicht aan de innovatieve ontwikkelingen in de wereld. Als gevolg van digitalisering en globalisering gaan deze ontwikkelingen juist alleen

WAT ALS WE NEDERLAND UITBREIDEN DE NOORDZEE IN?
 GAAN WE DAT DAN VOL ZETTEN MET WINDMOLENS OF...

maar sneller. Het is interessant om even stil te staan bij digitalisering en de mogelijke ontwikkelingen van Kunstmatige Intelligentie. Zal dit ervoor gaan zorgen dat KI-systemen een belangrijke rol in de wetenschap gaan vervullen en dat ontwikkelingen op het gebied van energie veel sneller zullen gaan [STT, 2017]?

In de toekomst wordt er verwacht dat de ontwikkeling van technologie en wetenschap exponentieel verloopt en dat technologie door Kunstmatige Intelligentie slimmer wordt dan de mens. Deze ontwikkeling wordt ook wel (technologische) singulariteit genoemd.



Hoofdstuk 1 biedt een overzicht van actuele ontwikkelingen op het gebied van energie. Enerzijds gaat het om technologieën die al ontwikkeld zijn en in de toekomst een veel groter marktaandeel kunnen gaan krijgen met hierdoor een grote impact op het energiesysteem. Anderzijds gaat het om technologieën waaraan nog veel onderzoek nodig is maar die, als de technologie er is, veel veranderingen op het gebied van energie teweeg zullen brengen. In de andere hoofdstukken van deze publicatie komen veel van de hier beschreven technologieën terug in de verschillende toekomstbeelden.

Voor de inhoud van dit hoofdstuk is gekozen te richten op technologieën die een directe rol spelen bij de opwekking, conversie, opslag en het transport van energie. Daarnaast is er ruimte gegeven aan ontwikkelingen die het *gebruik* van energie betreffen. Hierbij is de nadruk gelegd op innovaties die een grote impact zullen hebben op het energiesysteem.

WAT ALS KERNFUSIE COMMERCIËEL BESCHIKBAAR KOMT?
HEBBIJEN WE DAN EEN OVERVLOED AAN ENERGIE OF...

Technologische ontwikkelingen rond energieopwekking

Een belangrijke voorwaarde voor een energiesysteem is de aanwezigheid van energie en deze zal dus gegenereerd moeten worden. Hieronder is een overzicht te vinden van belangrijke – en een aantal bijzondere – ontwikkelingen op het gebied van opwekking van energie.

Zonne-energie

Er zijn verschillende mogelijkheden om de energie van de zon om te zetten in voor ons bruikbare vormen. De meest directe vorm is de warmte van de zon te gebruiken (zonnecollector), maar ook kunnen we zonlicht omzetten in elektriciteit (zonnepanelen) en in brandstoffen (solar fuels). Op al deze gebieden vinden technologische ontwikkelingen plaats.

De hoeveelheid zonne-energie die elke dag de aarde bereikt is ongeveer 9000 keer meer dan we verbruiken, hier is dus een enorm potentieel voor de toekomst voor onze energievoorziening.

31

WARMTE UIT ZONNE-ENERGIE

Zonnecollectoren kunnen zonnewarmte inzetten om huizen, kantoorpanden en water te verwarmen. Met behulp van spiegels is het nu zelfs mogelijk om temperaturen te bereiken tot 1300°C. Innovatie zal het mogelijk maken om in de toekomst nog hogere temperaturen te bereiken waardoor zonne-energie gebruikt kan worden bij industriële processen waar nu verbranding van fossiele brandstoffen voor nodig is.

ELEKTRICITEIT UIT ZONNE-ENERGIE

Het omzetten van zonlicht in elektriciteit gebeurt in een fotovoltaïsche cel. De meeste bekende vormen zijn op basis van kristallijn silicium. Momenteel hebben zonnepanelen een rendement van 15-21% [Energysage, 2017]. Veel innovatie is gericht op verbetering van het rendement, zo wordt er gezocht naar materialen die een grotere bandbreedte van het invallende licht kunnen omzetten naar elektriciteit waardoor het rendement toeneemt. Een andere manier om in de toekomst rendement te verbeteren is om zonnepanelen te maken waarbij verschillende lagen gestapeld worden. Elke laag heeft een andere bandbreedte waarbij licht in elektriciteit wordt omgezet.

Rendement is de hoeveelheid energie die een zonnecel oplevert ten opzichte van de hoeveelheid energie die de zonnecel binnenkomt via het zonlicht.

Interview: Claire de Wit – vriendin van Jules Holdbar

14 augustus 2050

Claire en Jules zijn van dezelfde leeftijd en opleidingsniveau en toch pakte hun leven anders uit. Lees hier hoe Claire de energietransitie heeft beleefd.

Q: We hebben de klimaatdoelstellingen gehaald maar daarvoor is er in Nederland heel veel veranderd. Vond je dit lastig?

A: Als ik eerlijk ben niet echt. Ik weet eigenlijk niet of er wel zoveel veranderd is. We weten al meer dan een halve eeuw dat klimaatverandering komt door het toedoen van de mens. Toen in 2015 het klimaatakkoord in Parijs werd ondertekend wisten we dat er veel moest gebeuren en ik vind het juist mooi om te zien hoe ons dat gelukt is.

Q: Dus voor jou is dit een logisch proces geweest?

A: Jazeker, ik denk dat de politiek in de jaren '20 misschien wat voortvarender had kunnen zijn. Maar al met al zijn er geen rigoureuze beslissingen geweest en hebben we nu toch een mooi functionerend energiesysteem. Ongeveer 15 jaar terug heb ik mijn hele huis laten renoveren om het zelfvoorzienend te maken en dit ging eigenlijk heel soepel. Mijn aannemer werkte samen met de gemeente om mij te adviseren over subsidies. Het was niet heel goedkoop, maar het is een investering die zich zeker heeft terugbetaald.

Q: Er zijn mensen in Nederland die in de problemen zijn geraakt, wat denk je hiervan?

A: Dat is natuurlijk heel erg vervelend! Ik weet alleen niet of we dit hadden kunnen voorkomen. Het is namelijk zo dat hoeveel regelingen je ook treft er altijd een paar mensen zullen zijn die daar geen aanspraak op kunnen maken. Gelukkig zijn er nu organisaties die deze mensen helpen om alsnog alles voor elkaar te krijgen.

Q: Zijn er nog wensen die je hebt voor de toekomst?

A: Natuurlijk, wie heeft dat niet! We besparen op het moment veel geld doordat we geen auto meer hebben, maar gebruik maken van een vervoersdienst. Dat geld spaar ik op omdat ik toch graag een oldtimer zou willen hebben, een Fiat 500 uit 2017. Het lijkt me zo leuk om die op te knappen en dan samen met mijn vriend over de landwegen van Nederland te rijden. Wel op biofuels natuurlijk, want fossiel dat kan echt niet meer!

Een andere ontwikkeling is het gebruik van spiegels om de hoeveelheid zonlicht die op de fotocel valt te concentreren. Deze spiegels kunnen dicht bij de zonnepanelen staan maar er zijn ook ideeën om spiegels op satellieten in de ruimte te plaatsen om zo extreem geconcentreerd licht naar de zonnepanelen op aarde te sturen.

De toepassing van nanotechnologie maakt het mogelijk om steeds dünnere materialen te maken tegen een lagere prijs dan de huidige panelen, dunne-film-zonnecellen. Hierdoor kunnen zonnecellen gemaakt worden met andere eigenschappen zoals flexibele, doorzichtige folies. Hiermee kunnen bijvoorbeeld ramen een energieopwekkende functie krijgen.

In plaats van de gangbare materialen zijn er ook ontwikkelingen om zonnecellen te maken van polymeren (een organisch materiaal). Deze cellen hebben een veel lager rendement (niet alleen in de praktijk, ook theoretisch), maar bieden andere mogelijkheden doordat ze bijna in elke vorm toegepast kunnen worden. Zo zou het zelfs mogelijk worden om kleding te maken die zonne-energie opwekt, handig voor het onderweg opladen van een telefoon. Ook kunnen deze materialen verwerkt worden in verf, waardoor elk gevefd oppervlak zonne-energie kan opwekken.

Als alle Nederlandse daken (675 miljoen m² geschikt dakoppervlak) voorzien zouden zijn van zonnepanelen dan kunnen ze ongeveer 50 miljard kW per uur opbrengen [Zonatlas, 2015]. Huishoudens verbruikten in 2013 23 miljard kW/uur aan elektriciteit [CBS, 2015].

SOLAR FUELS (BRANDSTOFFEN)

Het omzetten van zonlicht in brandstof kan gebeuren door eerst elektriciteit te maken in een zonnecel en deze te gebruiken voor de splitsing (elektrolyse) van water in zuurstof en waterstof. De gevormde waterstof kan direct gebruikt worden als brandstof of kan omgezet worden naar hoogwaardigere brandstoffen. Dit kan door de waterstof te laten reageren met CO₂ tot aardgas of met stikstof tot ammoniak.

Nog verder in de toekomst wordt het mogelijk om in fotochemische cellen waterstof direct met CO₂ om te zetten naar hoogwaardigere brandstoffen, dit proces is te vergelijken met de fotosynthese die in planten plaatsvindt.

Er vindt ook onderzoek plaats naar genetische modificatie van bacteriën zodat deze zonlicht en CO₂ kunnen omzetten in brandstoffen. In de toekomst zouden er bijvoorbeeld in de woestijn grote bacteriebaden kunnen staan voor de productie van brandstoffen.

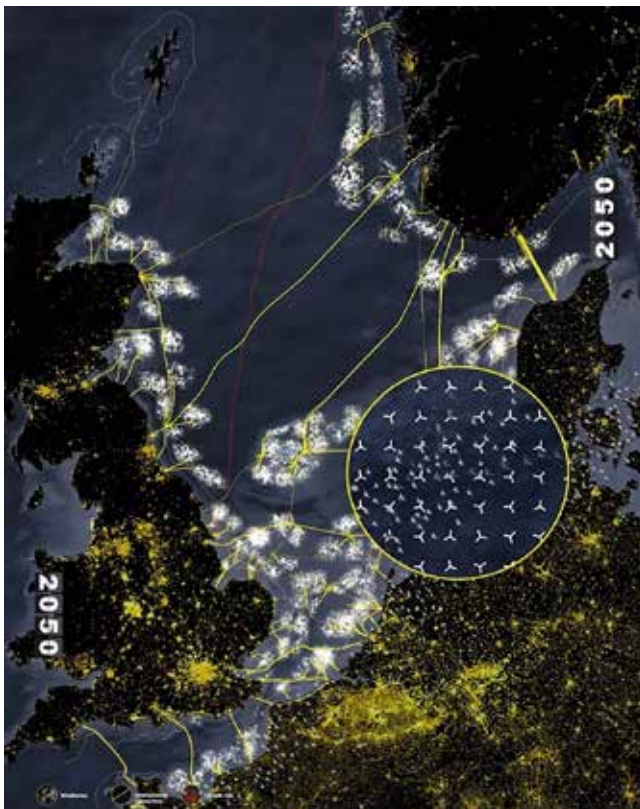
WAT ALS DE EU UIT ELKAAR VALT?
LOSSEN WE DAN ALLES NATIONAAL OP OF...

Windenergie

Windenergie is al heel lang een belangrijke bron van energie voor Nederland. Windmolens werden gebruikt om graan mee te malen en water weg te pompen uit polders. Momenteel is de meest bekende vorm van windenergie de windturbines die we op land en zee zien.

WINDTURBINES

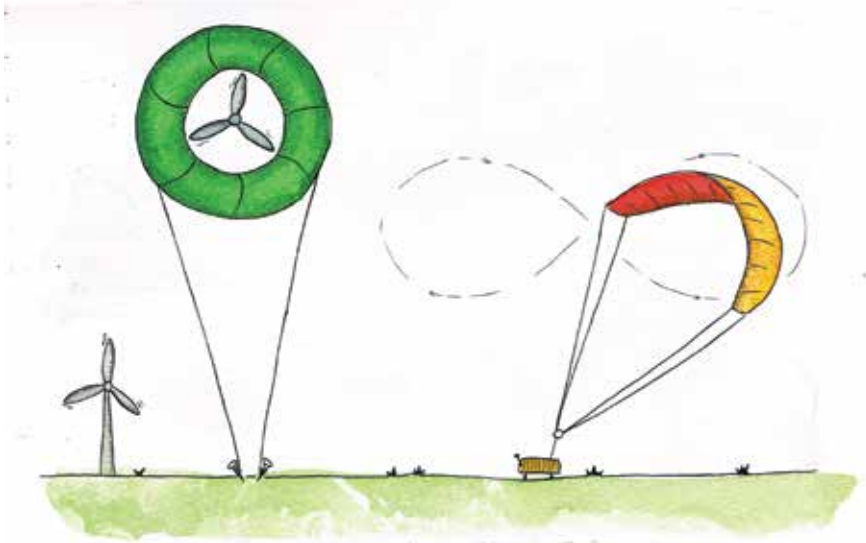
De huidige ontwikkelingen op het gebied van windturbines zitten in het groter maken van de molens (waardoor de capaciteit van gemiddeld 4 MW nu naar misschien wel 20 MW in 2050 kan gaan) en ervoor zorgen dat de bladen minder luchtweerstand en en minder onderhoud nodig hebben. Voor wind op zee zien we dat er wordt gewerkt aan drijvende windturbines die ingezet kunnen worden op plekken waar het te diep is om de basis van de windturbines vast te zetten in de zeebodem. In de toekomst is er een enorme potentie voor windenergie op zee. Onderstaande plaat geeft de potentie in de Noordzee weer.



Figuur 7 Grafische weergave van toekomstige mogelijkheden op de Noordzee voor windenergie. 2050 – IABR – Ateliers: An energetic odyssey, foto Hans Tak [IABR 2016]

AIRBORNE WINDVARIANTEN

Daarnaast zijn er ideeën voor *airborne* varianten van windenergie. Dit zijn varianten waarbij windenergie wordt opgewekt zonder dat er een enorme toren aan te pas komt. Het kan gaan om vliegers die energie uit de wind halen door het aandrijven van grote katrollen. Ook zijn grote ballonachtige constructies te bedenken, waarbinnen een turbine zit die op grote hoogtes als een windmolen kan werken.



Voor het maken van een windturbine is energie nodig, en daarnaast wordt voor de productie van de windturbine staal gebruikt – bij het produceren waarvan CO₂ vrijkomt. Daarnaast gebruiken de boten die de windmolens plaatsen fossiele brandstoffen. Dit zijn alle drie negatieve bijdragen aan klimaatverandering die echter in 3-6 maanden na ingebruikname al gecompenseerd zijn, terwijl een windmolen tot zo'n twintig jaar meegaat [Essent, n.d.].

Energie uit water

Ongeveer 70% van de aarde is bedekt met water en 97,5% hiervan bevindt zich in oceanen en zeeën. Al dit water biedt grote mogelijkheden voor de opwekking van duurzame energie.

Er zijn op dit gebied veel ontwikkelingen, maar het is waarschijnlijk nog een kwestie van tijd voordat we ze op grote schaal kunnen toepassen. Een bijkomend voordeel is dat bijna al deze vormen van energie toepassingen zijn onder het wateroppervlak, waardoor ze niet te zien zijn of de hierna genoemde ontwikkelingen uiteindelijk in Nederland komen is een vraag omdat we bijvoorbeeld niet veel stroming hebben in de Noordzee.

GETIJDE-ENERGIE

Oceanen zijn continu in beweging. Wisselende getijden, stromingen en golven zijn bewegingen die om te zetten zijn naar elektriciteit. Een grote uitdaging op dit gebied is corrosie van de bewegende onderdelen door het zoute zeewater. In de toekomst zullen er staalsoorten komen en andere materialen [Universiteit Twente, 2012] die zichzelf kunnen herstellen en veel beter bestand zijn tegen zout.

THERMISCHE ENERGIE

Thermische energie wordt opgewekt door gebruik te maken van het verschil tussen het koude water in de diepe oceaan en de warmere ondiepe lagen. Een groot voordeel van deze technologie is dat deze bron constant is en niet onderhevig aan bijvoorbeeld seizoenswisselingen zoals veel andere duurzame technologieën dat wel zijn.

ENERGIE UIT OSMOSE (BLAUWE ENERGIE)

Het is mogelijk om elektriciteit op te wekken op de plekken waar zoetwater samen komt met zoutwater – bijvoorbeeld een rivier die in de zee stroomt. De technologie die dit mogelijk maakt is osmose. In zoutwater zitten veel meer geladen deeltjes (ionen) dan in zoetwater. Met een membraam is het mogelijk om elektriciteit op te wekken uit het verschil in lading tussen zoet- en zoutwater.

Energie uit biomassa

Energie uit biologisch opgebouwde materialen noemen we biomassa. Biomassa kan op verschillende manieren gebruikt worden voor de productie van energie. Nu wordt biomassa vooral meegestookt in conventionele kolencentrales voor de productie van elektriciteit of wordt biomassa omgezet naar brandstoffen die bijgemengd worden bij de huidige fossiele brandstoffen.

Biomassa: “De biologisch afbreekbare fractie van producten, afvalstoffen en residuen van de landbouw (met inbegrip van plantaardige en dierlijke stoffen), de bosbouw en aanverwante bedrijfstakken, alsmede de biologisch afbreekbare fractie van industrieel en huishoudelijk afval.” – Europese Unie [EU, 2009]

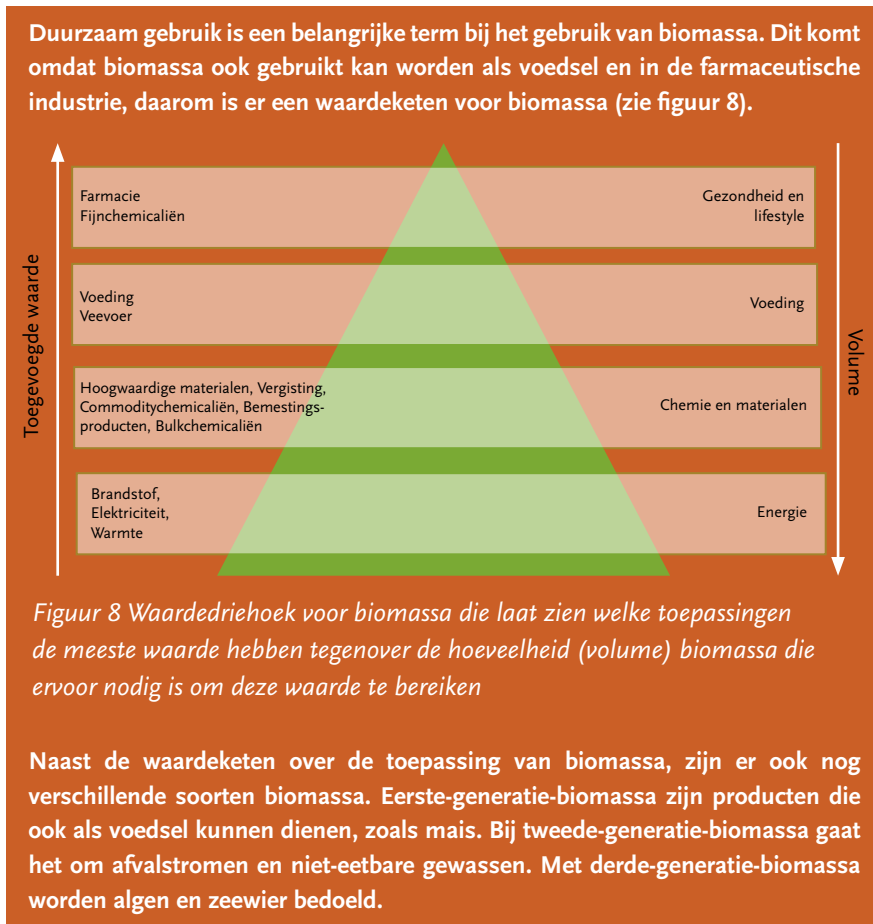
BIOBRANDSTOFFEN

In de toekomst zal biomassa steeds meer gebruikt worden voor de productie van brandstoffen en grondstoffen ter vervanging van de huidige fossiele brandstoffen. De reden hiervan is dat voor de productie van elektriciteit veel andere

opwekkingsmethodes geschikter zijn. Ontwikkelingen die we op het gebied van brandstofproductie kunnen verwachten zijn bijvoorbeeld de inzet van micro-organismen, enzymen en algen voor het vergisten van biomassa tot biogas of voor het omzetten van biomassa in chemicaliën en grondstoffen. Voor al deze ontwikkelingen geldt dat de biomassa die hiervoor gebruikt wordt nu nog van voldoende kwaliteit moet zijn, maar veel innovatie richt zich erop het mogelijk te maken dat in de toekomst reststromen, zoals tuinbouwafval, gebruikt kunnen worden.

DERDE-GENERATIE-BIOMASSA

Een mogelijke toepassing van biomassa is te vinden in zeewier, ook wel derde-generatie-biomassa genoemd. Het idee hierachter is dat biomassa van zeewier niet met landbouwgrond voor voedsel concurreert, waardoor het echt duurzaam kan zijn.



WAT ALS DE GASKRAAN DICHT GAAT?
GAAN WE DAN MEER ENERGIE IMPORTEREN OF...

Kernenergie

Er zijn twee verschillende vormen van kernenergie: kernsplijting en kernfusie. De huidige kerncentrales gebruiken kernsplijting voor het opwekken van energie, daardoor wordt bij het woord kernenergie bijna altijd kernsplijting bedoeld.

KERNSPLIJTING

Bij kernsplijting komt energie vrij door het splitsen van kernen van atomen. De warmte die hierbij vrijkomt kan gebruikt worden om elektriciteit te maken met behulp van een stoomturbine. Als bijproduct ontstaan er bij dit proces radio-actieve materialen.

Ondanks de publieke weerstand tegen kernenergie – 60% van de Nederlanders vindt kernenergie geen aanvaardbare energiebron [SCP, 2010] – wordt er onderzoek gedaan naar de ontwikkeling van een vierde-generatie-kernreactor. Deze reactoren staan ook wel bekend als gesmolten-zoutreactoren of thoriumreactoren. Deze reactoren zullen een stuk veiliger zijn dan de huidige reactoren omdat met thorium als brandstof de splitsing niet op hol kan slaan zoals bij de reactie met uranium als brandstof wel kan gebeuren. Ook wordt er tot duizend keer minder afval geproduceerd en dit afval heeft een veel kortere vervaltijd [ECN, 2011]. De vervaltijd is de tijd die een deeltje nodig heeft om de helft minder straling af te geven. Momenteel zijn er op verschillende locaties testinstallaties en wie weet zal deze technologie in de toekomst een rol kunnen spelen in het energiesysteem.

Momenteel is in Europa ongeveer 30% van de opgewekte elektriciteit afkomstig van kernenergie. Voor Nederland is dat ongeveer 4%. Omdat er geen CO₂ vrijkomt bij de kernsplijting is deze technologie erg interessant om in te zetten om de klimaatdoelstellingen te behalen. Aan de andere kant is kernenergie controversieel doordat veiligheid en het afvalprobleem maken dat er op de lange termijn een gevaar voor mens en milieu is. Hierdoor verzet de publieke opinie zich ertegen.

KERNFUSIE

De tweede vorm van kernenergie is kernfusie, waarbij in een magnetisch veld en onder hoge temperatuur en hogedruk de kernen van atomen samensmelten en er energie vrijkomt. Dit is hetzelfde proces dat plaatsvindt in onze zon en de sterren. De kernfusie van waterstof vindt plaats tussen de 15 en 150 miljoen °C. Deze hoge temperatuur maakt de verdere ontwikkeling van deze technologie erg moeilijk, omdat er op aarde geen materialen zijn die deze temperaturen aankunnen. De reactie moet daarom plaatsvinden in een magnetisch veld.

WAT ALS ZONNE-ENERGIE GOEDKOPER IS DAN CONVENTIONELE ENERGIE?
GAAN WE DAN MASSAAL INVESTEREN OF...

Life on Mars

Nieuwsbericht 18 september 2054: Team wetenschappers gaat Mars bewonen

Naar een idee van Ewald Breunese (Shell)

Een greenfield, de droom van iedere innovator! Maagdelijk, zonder enige infrastructuur, waar voor het inpassen van innovaties geen concessies gedaan hoeven te worden. Sinds geo-engineering¹ op de aarde in de jaren 30 van deze eeuw een slechte naam had gekregen, en door de Verenigde Naties wereldwijd is verboden, is een groep wetenschappers met een nieuwe blik gaan kijken naar de rode planeet: Mars. Het idee dat we daar een nieuwe leefwereld zouden kunnen creëren... Vandaag is het zover: een groep van honderd mensen zet voet op Mars waar inmiddels al jaren gewerkt is aan het opzetten van het nieuwe leefsysteem. Het uitgangspunt van de wetenschappers was om een volledig circulair systeem op te zetten, omdat er nog geen goed idee was over de omvang van de bodemschatten en men niet wilde dat het bestaan op de planeet daar afhankelijk van zou worden. De voorraden water op de planeet lijken op het eerste gezicht meer dan voldoende voor een omvangrijke stedelijke bevolking, maar het voorzorgsprincipe bepaalt om hier uitsluitend circulair mee om te gaan. De zon is uiteindelijk een onuitputtelijk bron van hernieuwbare energie, waar de Marsbewoners

niet zuinig mee hoeven zijn. Vanwege het circuleren van water, voedsel en materialen is het energiesysteem zwaar over gedimensioneerd. Energiebesparing is niet nodig zolang er geen schaarste is of dreigt. Liever een energieoverschot om de minder efficiënte cyclische processen uit te voeren, dan kostbare bronnen verloren te laten gaan. Hoewel al deze kennis op de aarde is ontwikkeld, is de implementatie van zo'n circulair systeem daar (nog) niet denkbaar omdat het economisch systeem gebaseerd blijft op de financiële afweging tussen gebruikt en nieuw materiaal. Op de aarde is de bodem van de put is nog niet bereikt – veel materialen zijn nog niet volledig uitgeput, de noodzaak om de economie ondergeschikt te maken aan een circulair systeem is nog niet urgent genoeg. Misschien is dat wel de beste les die de wetenschappers vanuit de geschiedenis op de aarde ingebracht hebben in hun nieuwe systeem: alleen de zon gaat voor niks op. Voor al het andere moet een eindeloze cirkel van hergebruik gelden zodat de bodem van welk vat dan ook, nooit in zicht komt.

We kijken uit naar de ontwikkelingen van deze groep op Mars, is hun slimme manier om het energiesysteem in te richten levensvatbaar? Alleen de tijd zal het ons leren.

¹ Er zijn meerdere manieren om te kijken naar het probleem (en de oplossingen) voor klimaatverandering. In deze publicatie wordt het tegengaan van klimaatverandering door het beperken van de uitstoot van broeikasgassen als uitgangspunt genomen. Geo-engineering is een tak van de wetenschap die zoekt naar andere manieren zijn om het klimaat te veranderen. Want als we de aarde nu opwarmen, zijn er misschien ook manieren te bedenken om de aarde af te koelen (of in ieder geval minder op te warmen).



Dit veld zorgt ervoor dat het plasma de wanden niet aanraakt. Huidig onderzoek richt zich onder andere op de ontwikkeling van magnetische velden en materialen die nodig zijn voor een reactor die extreme temperaturen aankan. Een andere uitdaging voor deze technologie is dat er nu nog veel energie nodig is om de reactie op gang te brengen. Of deze technologie in 2050 al klaar is om commercieel toegepast te worden is de vraag, maar als het lukt zou de toekomst van het energiesysteem er weleens heel anders uit kunnen zien dan we ons nu voorstellen.

Een alternatief voor kernfusie is koude kernfusie. Deze reactie zou om en nabij kamertemperatuur kunnen plaatsvinden. Over het algemeen wordt koude kernfusie in de wetenschappelijke wereld gezien als een niet-bestaand fenomeen, er is echter een kleine groep wetenschappers die hiernaar onderzoek blijft doen.

Fossiele brandstoffen

Het grootste deel van onze energie komt nu nog uit fossiele brandstoffen zoals kolen, aardgas en olie. In de toekomst worden er geen grote veranderingen verwacht in de manieren waarop we deze fossiele grondstoffen omzetten in energie. In de afgelopen jaren zijn er wel ontwikkelingen geweest die bijvoorbeeld geleid hebben tot de mogelijkheid om nieuwe energiebronnen te winnen.

SCHALIEGAS

Schaliegas is een voorbeeld van een nieuwe grondstof. Dit aardgas bevindt zich in een steenlaag waarbij om het gas vrij te krijgen scheurtjes in de steenlaag gemaakt moeten worden. Dit wordt gedaan door een mengsel van zand, water en chemicaliën in de steenlaag te pompen en later het gas uit dit mengsel terug te winnen.

METHAANIJS

Methaanhydraten, ofwel methaanijs, vormen een tweede nieuwe energiebron. Uit de kristalstructuur van deze hydraten is methaan te winnen. Deze kristallen zijn te vinden op de bodem van de oceaan en kunnen als nieuwe bron voor aardgas dienen. Wetenschappers vermoeden dat er meer methaanijs in de oceanen te vinden is dan alle andere fossiele brandstoffen bij elkaar opgeteld.

CO₂-AFVANG

Ook bij voortzetting van het gebruik van fossiele brandstoffen zijn er nog innovaties mogelijk die de klimaatdoelstellingen steunen. Door het afvangen van CO₂ is het mogelijk om energie te halen uit fossiele brandstoffen zonder consequenties

voor de opwarming van de aarde. Als kolen- en gascentrales, hoogovens en andere zware industrie uitgerust worden met CO₂-afvangtechnologie zou het mogelijk zijn om deze bronnen te blijven gebruiken.

De CO₂ die afgevangen wordt kan bijvoorbeeld opgeslagen worden in lege gasvelden. Het is ook mogelijk om de afgevangen CO₂ te gebruiken door deze chemisch te binden tot een brandstof (power-to-gas) of om chemicaliën te maken (power-to-chemicals). Als de CO₂ gebruikt wordt voor het maken van brandstoffen is de opslag van CO₂ echter tijdelijk, want bij gebruik zal de CO₂ weer vrijkomen en alsnog in de atmosfeer komen, tenzij deze opnieuw afgevangen wordt. Daarnaast zijn er nog ideeën zoals het verwerken van CO₂ in producten als cement en bakpoeder. Ook kan de CO₂ voor de opslag van energie gebruikt worden (zie hierover meer in de paragraaf *Technologische ontwikkelingen rond energieopslag* pagina 44).

Overige vormen

Naast de hiervoor beschreven energiebronnen zijn er vormen van opwekking die niet in deze indeling passen. Om een idee te geven van de enorme uiteenlopende mogelijkheden hieronder voorbeelden van energie-opwekkingsmethodes die niet vallen onder de eerdere indeling.

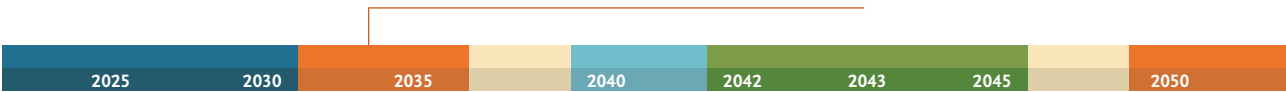
GEOTHERMIE

Veel van de tot dusver genoemde opwekkingsmethodes maken elektriciteit of brandstoffen. Beide energiedragers kunnen gebruikt worden voor de productie van warmte. Er zijn echter ook warmtebronnen die rechtstreeks gebruikt kunnen worden, zoals warmte van de zon (beschreven in de paragraaf *Warmte uit zonne-energie*). Een andere manier om direct aan warmte te komen is de winning van warmte uit de grond, geothermie genoemd. Er zit veel warmte in de diepere bodemlagen van de aarde en op locaties zoals IJsland, waar al op relatief geringe diepte warmte gevonden kan worden, wordt deze warmte al jaren gebruikt. Ook in Nederland wordt deze vorm van warmte steeds meer ingezet voor bijvoorbeeld de verwarming van kassen. Over het algemeen neemt per kilometer diepte de temperatuur van de aarde met 35 tot 40°C toe.

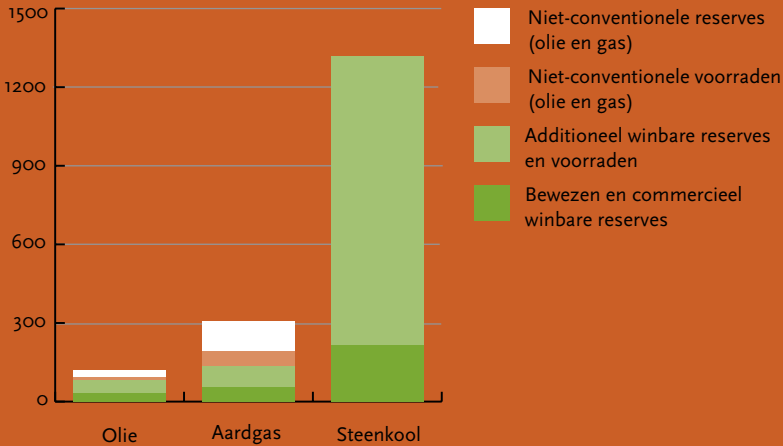
PIËZO-ELEKTRICITEIT

Piëzo-elektriciteit is een manier om mechanische druk om te zetten in elektriciteit. Een vloer waarin kristallen met een piëzo-elektrisch effect verwerkt zijn, kan elektriciteit opwekken als je eroverheen loopt.

WAT ALS ALLE KOLENCENTRALES DICHT GAAN?
MOETEN WE DAN OP ELEKTRICITEITSRANTSOEN OF...



In deze publicatie is het algemene uitgangspunt dat we in 2050 een (zo goed als) emissievrij energiesysteem hebben. Om volledig te zijn in de mogelijkheden die er zijn in de toekomst in dit kader informatie over de fossiele brandstoffen. Momenteel wordt 93% van de energie in Nederland geproduceerd met fossiele brandstoffen en het tempo waarmee het gebruik van fossiele brandstoffen wordt afgebouwd is nog niet hoog genoeg om in 2050 een emissievrij energiesysteem te hebben [ECN, 2016].



Figuur 9 De mondiale voorraden fossiele brandstoffen bij het verbruikstempo van 2004 [CLO, 2007]

Bovendien is de voorraad fossiele brandstoffen nog zo groot dat we de komende 150 jaar ons energiesysteem op olie zouden kunnen laten draaien, nog 360 jaar op aardgas en nog 1320 jaar op kolen [CLO, 2007]. In figuur 9 is te zien hoe lang we nog fossiele brandstoffen kunnen blijven gebruiken uitgaande van gelijk gebruik als in 2004. Met zoveel beschikbare grondstoffen is het de vraag of we deze fossiele brandstoffen wel in de grond willen laten zitten...

De ontwikkelingen op het gebied van duurzame energie gaan echter zo snel dat het een vraag is of het (economisch) logisch is om fossiele brandstoffen te willen blijven gebruiken. Een veel gehoorde opmerking hierover is "Het stenen tijdperk eindigde niet omdat de stenen op waren".

Technologische ontwikkelingen rond energietransport

Energie wordt zelden opgewekt op de locatie waar het gebruikt wordt. Er is dus een transportsysteem nodig om energie naar de gebruiker te brengen. Veel van de huidige energiedragers – zoals olie, kolen en gas – worden vervoerd via pijpleidingen, grote schepen of vrachtwagens. Dit zal weinig veranderen, behalve dat in de toekomst een verminderde vraag naar fossiele brandstoffen verwacht kan worden,

WAT ALS WE HERSENCHIPS KRIJGEN DIE ONS GEDRAG KUNNEN BEÏNVLOEDEN?
WORDEN WE DAN HEEL ERG DUURZAAM OF...



waarmee deze vorm van transport waarschijnlijk zal afnemen. Aan de andere kant kunnen de bestaande schepen en pijpleidingen ingezet worden om nieuwe energiedragers, zoals waterstof, biofuels en solar fuels, te transporteren.

Transport van elektriciteit is een ander verhaal. In de toekomst zullen we door de steeds verdergaande elektrificatie in alle sectoren juist steeds meer elektriciteit te transporteren hebben. Daarnaast gaat decentrale opwekking van elektriciteit nieuwe eisen stellen aan het huidige elektriciteitsnet. Ontwikkelingen die hierbij horen zijn die van smart grids (slimme netwerken) en virtuele elektriciteitscentrales. Dit soort systemen zijn niet meer – zoals onze huidige systemen – uitsluitend vraaggestuurd. De *smart grids* zijn nodig omdat door de toename van steeds meer partijen (consumenten en bedrijven) die zowel consument als producent zijn, het elektriciteitsnet een sterk wisselende toevoer en afname ondervindt. Door onderlinge communicatie tussen alle verschillende onderdelen van het systeem, zowel energie-opwekkende als -verbruikende onderdelen, zorgen de smart grids voor een stabiel energiesysteem.

Ook bij de aansturing van het energiesysteem met behulp van smart grids, zijn er elektriciteitskabels nodig die de elektriciteit naar de gebruiker transporteren. Momenteel wordt voor deze kabels elektriciteitgeleidend koper of aluminium gebruikt. In de toekomst zullen we deze materialen wellicht vervangen voor supergeleidende kabels. Deze kabels hebben veel minder verlies van elektriciteit dan de huidige kabels. Hier zit wel nog een uitdaging in het feit dat deze kabels gekoeld moeten worden met bijvoorbeeld vloeibare stikstof.

TenneT wil in Enschede een supergeleidende kabel van 3,4 kilometer aanleggen bedoeld voor een spanning van 110 kilovolt. Dit zou de langste supergeleidende kabel ter wereld zijn in werking en ons veel nieuwe informatie geven over deze toepassing [Kennislink, n.d.].

In de toekomst gaat het mogelijk worden om elektriciteit te transporteren zonder dat er kabels nodig zijn. Er zijn vele ontwikkelingen op het gebied van draadloze energie. Sommige toepassingen zijn al commercieel beschikbaar, zoals inductiekookplaten en draadloze telefoonopladers. Ook rijden er in Nederland al elektrische bussen die tijdens hun route opladen via inductieplaten in de weg [APPM, 2014]. De afstand tussen de oplader en het op te laden object moet momenteel nog behoorlijk klein zijn, maar hier zal in de toekomst verandering in komen omdat het dan mogelijk wordt om elektriciteit over langere afstanden te verplaatsen met geluidsgolven [Kennislink, n.d.-b] of via lasers [SSI, n.d.]. Het zou hierdoor zelfs mogelijk kunnen worden om elektriciteit vanuit de ruimte naar de aarde te transporteren.

Technologische ontwikkelingen rond energieopslag

Energieopslag is een belangrijke factor om te garanderen dat er voldoende energie beschikbaar is op de juiste momenten. In ons huidige energiesysteem is opslag relatief eenvoudig omdat de meestgebruikte brandstoffen zoals kolen en olie in vaste of vloeibare vorm aanwezig zijn. In de toekomst zal hier verandering in komen door onder andere de grote toename van elektriciteit zoals energiedrager en de opkomst van andere brandstoffen als waterstof. Dit vooruitzicht zorgt voor een grote toename aan innovaties op het gebied van opslag voor nieuwe energiedragers.

Kortetermijn-opslag van energie

Voor opslag op de korte termijn (voor het opvangen van dag-nacht fluctuaties) zijn batterijen een goede optie. Ontwikkelingen op het gebied van de overslagcapaciteit gaan erg snel, waarbij de omvang van de batterijen steeds kleiner wordt en de hoeveelheid opgeslagen energie toeneemt. Verder zijn ontwikkelingen op het gebied van de oplaadsnelheid erg belangrijk. Het sneller opladen van batterijen kan verdere elektrificatie van veel processen versnellen. Als elektrische auto's binnen vijf minuten kunnen opladen dan worden ze voor een veel breder publiek een goed alternatief voor de huidige brandstof-auto's. Ook vliegwheels zijn een goede optie voor kortetermijn-opslag. Door de grote massa van een vliegwiel is er energie nodig om het in beweging te krijgen, maar als het draait dan is er bij vertraging weer energie uit te halen. Misschien is het zelfs mogelijk om in de toekomst enorme ondergrondse vliegwheels te maken [ECN, 2015].

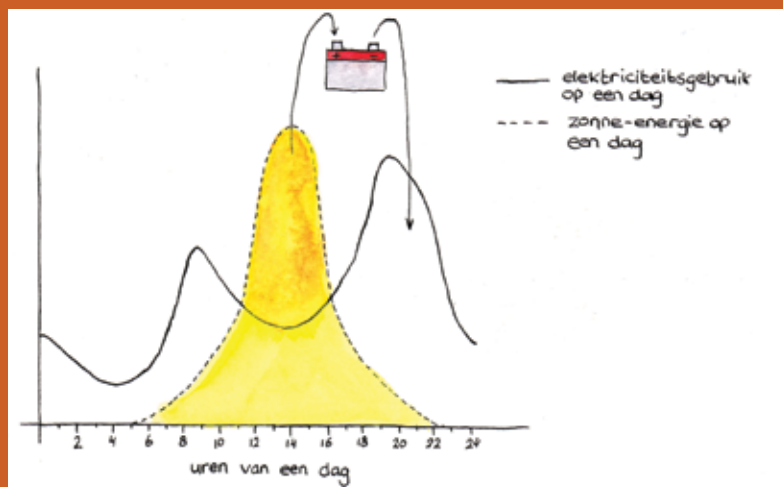
Langetermijn-opslag van energie

Voor de opslag op de middellange tot lange termijn zien we veel verschillende innovaties, sommige gaan uit van het huidige systeem en andere zijn meer experimenteel. Het omzetten van elektriciteit uit duurzame bronnen naar brandstoffen is een vorm van opslag die erg aan ons huidige systeem verbonden is. In de paragraaf *Solar fuels (brandstoffen)* meer over de methodes om elektriciteit om te zetten in brandstoffen. Doordat de geproduceerde brandstoffen erg lijken op de traditionele brandstoffen (zoals methaan) is er geen nieuwe infrastructuur nodig voor deze vorm van opslag.

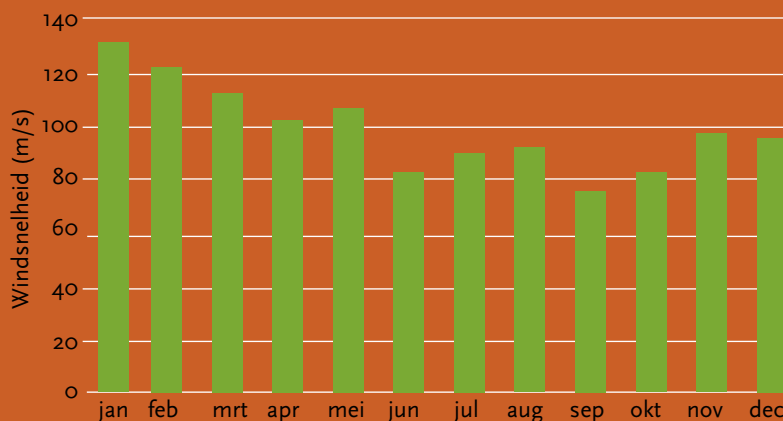
Er zijn ook opslagmethoden gebaseerd op natuurkundige principes. Zo kunnen grote vaten op druk gebracht worden met lucht of met CO₂, bij het leeg laten kan energie teruggewonnen worden. In landen met grote hoogteverschillen worden stuwmeren gebruikt om energie in op te slaan. Een ontwikkeling op dit gebied is om kunstmatige grote eilanden in zee te bouwen met een meer dat vol kan lopen en leeggepompt kan worden.

WAT ALS SPANNINGEN IN DE WERELD TOENEMEN?
ONTSTAAN ER DAN ENERGIETEKORTEN OF...

Veel elektriciteit zal in de toekomst uit duurzame bronnen komen. Inherent hieraan is dat er een sterk fluctuerende toevoer van elektriciteit zal ontstaan. Er zullen verschillen zijn voor het verschil in dag en nacht en voor de verschillende seizoenen. Figuur 10 laat de fluctuaties zien voor zonne-energie over een dag en figuur 11 laat de windsterktes over een jaar zien. Momenteel is het aandeel duurzame energie nog niet zo groot dat we hier gevolgen van ondervinden, maar dit zal in de toekomst veranderen. Er zijn dus nieuwe technologieën nodig die energie kunnen opslaan voor kortere en langere periodes. Een andere oplossing om de fluctuaties op te lossen is internationale samenwerking om energie uit te wisselen tussen gebieden die op dat moment een overschot hebben. Op deze wijze kan een gedeelte van de fluctuaties gebalanceerd worden.

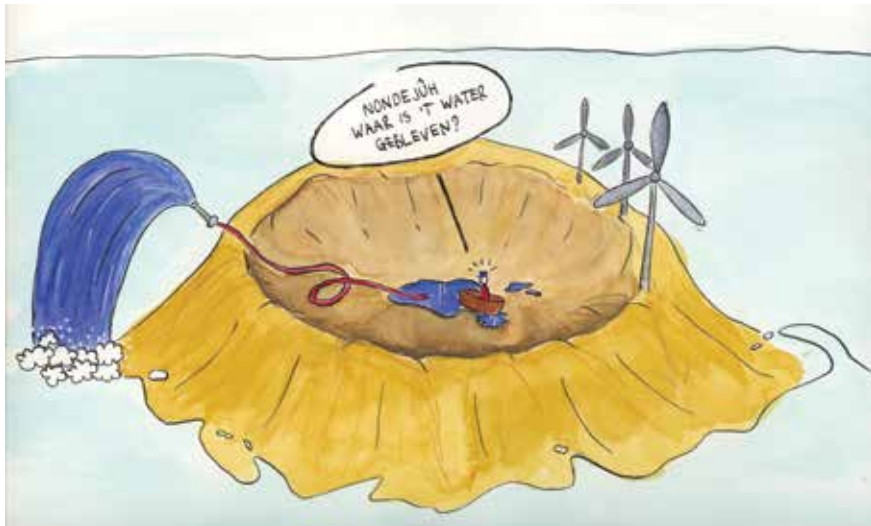


Figuur 10 Het verschil tussen de vraagpiek aan energie en aanbodpiek van zonne-energie



Figuur 11 Maandelijkse gemiddelde windsnelheden 2016 [KNMI, 2016]

WAT ALS 3D-PRINTEN DE MAAKINDUSTRIE VERVANGT?
HEBBIEN WE DAN MEER OF MINDER ENERGIE NODIG OF...



Opslag van warmte

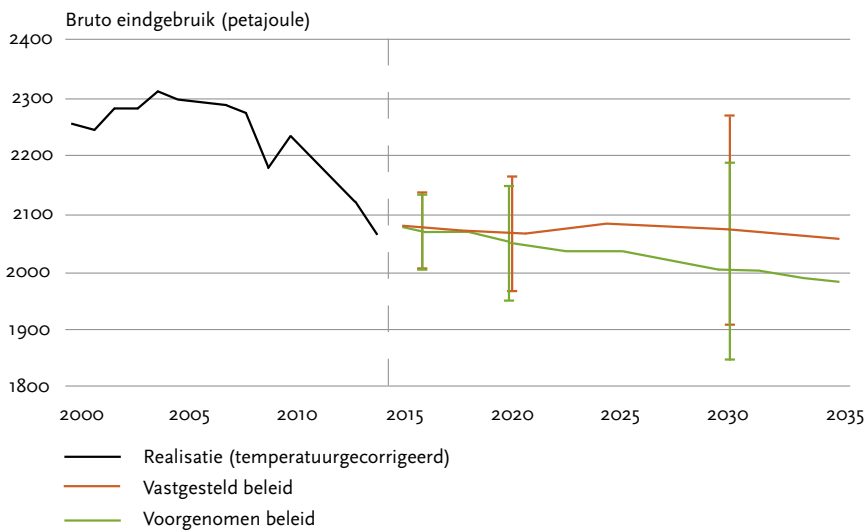
Naast elektriciteit is warmte een belangrijk onderdeel van het energiesysteem en zijn er ontwikkelingen in de warmte-opslag. De meest directe vorm wordt warmte-koude opslag (WKO) genoemd, waarbij warm of juist koud water wordt opgeslagen. Dit kan gebeuren in ondergrondse zandlagen, maar ook in grote ondergrondse waterzakken.

Warmte kan ook worden opgeslagen middels het vormen van zouten. Door het hydrateren (water toevoegen) en dehydrateren van zouten kunnen in de zomer ruimtes gekoeld worden en in de winter verwarmd worden. Dit wordt thermochemische opslag genoemd [TNO, n.d.]. Andere ontwikkelingen op het gebied van warmte-opslag zijn gebaseerd op warmte opslaan in poreuze gesteente zoals basalt, wat gebruikt zou kunnen worden in de woonomgeving [Science Asia, 2010].

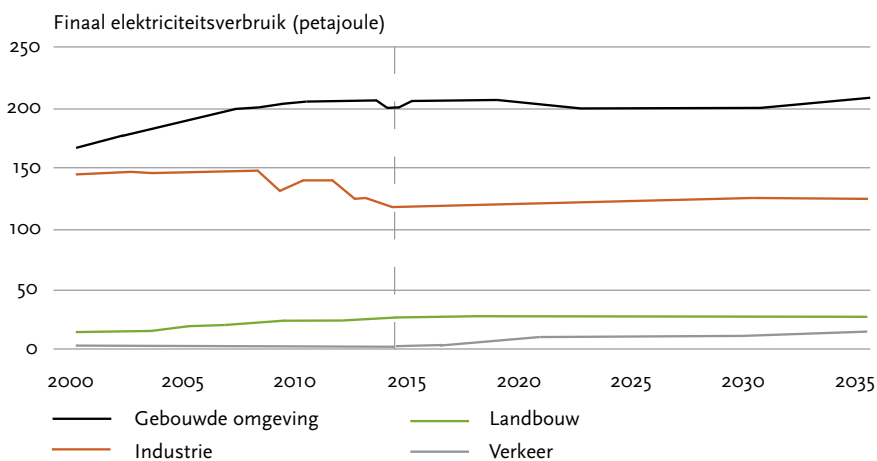
Technologische ontwikkelingen rond energiegebruik

We gebruiken steeds meer apparaten in ons dagelijks leven en al deze apparaten verbruiken energie en er is energie nodig geweest om ze te maken. Als we kijken naar de hoeveelheid energie die we gebruiken dan zien we in figuur 12 dat we in Nederland minder energie gaan gebruiken en dat het de verwachting is dat deze trend zich doorzet. Dit komt vooral door afname van de warmtevraag in de industrie. In figuur 13 is te zien dat de hoeveelheid elektriciteit die we gebruiken wel toeneemt. Deze toename zou zelfs nog meer kunnen worden als trends zoals elektrisch rijden zich sneller gaan uitrollen.

WAT ALS ENERGIE DRAADLOOS BESCHIKBAAR IS?
WORDT DIT DAN EEN ENORME HYPE OF...



Figuur 12 Ontwikkeling van energieverbruik in Nederland, reëel en prognose [ECN, 2016]



Figuur 13 Ontwikkeling van elektriciteitsverbruik in Nederland, reëel en prognose [ECN, 2016]

Energiegebruik in de gebouwde omgeving

Om de klimaatdoelstellingen voor 2050 te behalen zijn niet alleen schonere manieren van energieproductie nodig, het is ook van belang dat er minder energie gebruikt gaat worden.

WAT ALS OPSLAG VAN WATERSTOF HEEL ERG EFFICIËNT KAN?
GAAN WE DAN MINDER ELEKTRISCHE AUTO'S AANSCHAFFEN OF...

WK voetbal 2058 in Niger en Mali

Artikel op sportnieuwswebsite

Naar een idee van Ruud van den Brink (ECN)

Eindelijk is door de Wereldvoetbalbond FIFA bekend gemaakt waar over acht jaar het wereldkampioenschap voetbal zal plaatsvinden... Niger en Mali in Afrika zullen de eer hebben om in 2058 het grootste sportevenement ter wereld te organiseren! Het tijdens de jaarvergadering genomen besluit om het toernooi toe te wijzen aan deze twee landen weerspiegelt duidelijk de verschuiving in de wereldeconomie die zich de afgelopen decennia heeft voltrokken.

Dertig jaar geleden behoorden Niger en Mali nog tot de allerarmste landen ter wereld en verlieten veel inwoners hun land op zoek naar een betere toekomst. In de laatste decennia is er veel veranderd, door hun ligging en klimaat zijn de landen in korte tijd de belangrijkste energieleveranciers van Europa geworden. De enorme velden met zonnepanelen en de bijbehorende industrie om de zonne-energie om te zetten in vloeibare brandstoffen heeft tot een economische boost geleid die alleen te vergelijken is met de ontdekking van olie in het Midden-Oosten halverwege de vorige eeuw. Het is dan ook logisch dat deze landen,

als kers op de taart, nu de kans krijgen om aan de hele wereld te laten zien hoe ze de kansen die hieruit voortkwamen optimaal hebben benut.

Maar voordat het zo ver is, staat eerst het WK van 2050 in IJsland voor de deur. Nederland maakt dit jaar een goede kans! Wilt u op de hoogte blijven van het laatste nieuws over het WK, dat een geweldig toernooi beloofd te worden, abonneer u dan nu op de pushberichten.



Een grotere energie-efficiëntie kan zorgen voor een fors minder energieverbruik. Energie-efficiëntie kan bereikt worden op verschillende manieren. In en om het huis zien we dat apparaten steeds zuiniger worden, bij de verkoop van apparaten is het verplicht om aan te tonen hoe energie-efficiënt een apparaat is. Een ander heel belangrijk element voor minder energieverbruik is het isoleren van woningen. Er zijn steeds meer mogelijkheden om bestaande gebouwen goed te isoleren waardoor minder verwarming en koeling nodig is.

Trias energetica is een strategie bedoeld voor duurzame omgang met energie in de gebouwde omgeving. Het uitgangspunt is dat de eerste stap is om energiegebruik te beperken, daarna gebruik te maken van duurzame energie en als laatste efficiëntere manieren gebruiken voor de toepassing van fossiele brandstoffen [Senternovem, 2006]. Een vraag voor de toekomst is wat er gebeurt als duurzame energie een stuk goedkoper gaat worden. Zijn de maatregelen in de eerste stap – zoals het isoleren van woningen – dan nog wel nodig, of beschouwen we dit dan als weggegooid geld?

Energiegebruik in de industrie

In de industrie vinden grote innovaties plaats op het gebied van verbeteren van *bestaande* productieprocessen en door de introductie van *nieuwe* productiemethodes. Het verbeteren van huidige productieprocessen kan bijvoorbeeld door de ontwikkeling van nieuwe materialen (zoals katalysatoren) die het mogelijk maken om bij lagere temperaturen te werken. Ook kan door de inzet van warmtepompen restwarmte opnieuw gebruikt worden om warmte op een hoger temperatuurniveau te genereren.

Er vindt ook steeds meer samenwerking plaats tussen verschillende sectoren. Zo is het steeds gebruikelijker dat restwarmte van de industrie gebruikt wordt om omliggende woonwijken of kassencomplexen te verwarmen.

Nieuwe bedrijfsprocessen kunnen de industrie zoals we die nu kennen behoorlijk veranderen. In de productie-industrie zullen technologieën als 3D-printen betekenen dat producten op veel kleinere schaal geproduceerd kunnen worden. Dit geeft dan mogelijkheden voor nieuwe bedrijven die de grondstoffen kunnen aanleveren. In de chemische-industrie kan de ontwikkeling van microreactoren voor verandering zorgen doordat deze reactoren veel minder energie nodig hebben dan de huidige. In andere sectoren kan elektrificatie van processen veel veranderen, zodat we in de toekomst wellicht zelfs elektrisch geproduceerd staal gaan zien [TNO/ECN, 2016].

WAT ALS GROTE OLIEMAATSCHAPPIJEN FAILLIET GAAN?
GAAT DE VERDUURZAMING DAN SNELLER OF ONTSTAAN ER OORLOGEN IN AFRIKA OF...

Energiegebruik in de transportsector

In de transportsector komen steeds meer elektrische voertuigen. Momenteel zijn het nog voornamelijk personenauto's die elektrisch zijn, maar er rijden ook steeds meer bussen en kleine vrachtwagens op elektriciteit. Capaciteitsontwikkelingen op het gebied van batterijen maken het mogelijk dat er in de toekomst steeds meer elektrische voertuigen bijkomen, zoals grotere vrachtwagens op elektriciteit (zodat ze in de stad mogen komen) en de NASA is inmiddels een onderzoeksprogramma gestart voor vliegen op elektriciteit [NASA, n.d.].

Niet alleen elektrificatie kan een manier zijn om de emissies in de transportsector te verminderen. Ook ontwikkelingen zoals de brandstofcel kunnen een grote rol spelen. Deze brandstofcellen gebruiken waterstof als brandstof en zullen zeker voor langeafstandsvervoer in vrachtwagen en vliegtuigen een belangrijke rol kunnen gaan spelen.

De transportsector zet in op de snelle opkomst van elektrische auto's. Automerken als Tesla komen op de markt met betaalbare voertuigen en Volvo heeft bekend gemaakt vanaf 2019 alleen nog maar (semi-)elektrische auto's te gaan produceren.

Naast de bestaande vormen van transport wordt er gewerkt aan nieuwe vormen van transport die meestal elektrisch zijn. Te denken is aan ontwikkelingen zoals de *hyperloop*, een soort metro waarbij een cabine in een vacuümbuis door magneten voortgestuwd wordt. Met de hyperloop kunnen enorm hoge snelheden behaald worden, wel tot 1200 km per uur. Ook valt te denken aan drones voor het transport van goederen.

Energiegebruik en digitalisering

'Slimme apparaten' gaan voor een verandering zorgen in het energiesysteem. Steeds meer apparaten zullen een verbinding hebben met het internet en data verzamelen over onder andere hoe en wanneer ze gebruikt worden. Deze ontwikkeling wordt ook wel Internet of Things (IoT) genoemd.

Met al deze data kunnen de apparaten in de toekomst onderling gaan communiceren en handelen naar bijvoorbeeld het voordeligste energieverbruik. Slimme meters in huis zijn hier een eerste start van. Zelfrijdende auto's kunnen het mogelijk maken zuiniger te rijden. Slimme systemen kunnen op grote schaal ingezet worden om anders om te gaan met onze energie. Datacenters kunnen bijvoorbeeld hun rekencapaciteit daar uitvoeren waar op dat moment de meeste energie beschikbaar is.

WAT ALS DRONES GOEDEREN GAAN BEZORGEN?
WORDEN VRACHTWAGENS DAN OVERBODIG OF...

Interview: Marcel Huisman – transitiemanager bij ST@@L

21 oktober 2039

Q: Marcel, kan je kort vertellen wat voor bedrijf ST@@L is?

A: Natuurlijk, de naam zegt het al gedeeltelijk. Wij produceren onder andere staal, maar ook aluminium, blik en andere metaalproducten die gebruikt kunnen worden voor het produceren van bijvoorbeeld auto-onderdelen.

Q: Nu ben jij transitiemanager, wat voor rol heb jij binnen het bedrijf?

A: Van oudsher is de productie van staal een energie-intensief proces, en niet geheel duurzaam. Ondanks ontwikkelingen van alternatieve materialen als carbonfibers denken wij dat er wel een toekomst blijft voor staal. Maar om bestaansrecht voor de toekomst zeker te stellen was het nodig om het hele proces te veranderen. In mijn functie ben ik verantwoordelijk voor deze transitie.

Q: Vandaag zijn we hier voor de opening van de nieuwe productiefaciliteit die volledig op elektriciteit draait, is dat wat nodig is voor de toekomst?

A: Dat is zeker belangrijk, maar zeker niet het enige. Bij ST@@L denken we dat duurzaamheid niet alleen zit in processen die draaien op duurzame energie. Het is weliswaar een hele vooruitgang dat we nu op deze schaal staal kunnen maken zonder steenkool nodig

te hebben. Maar waar we in deze nieuwe faciliteit ook rekening mee hebben gehouden is flexibiliteit. De marktvaart naar producten verandert snel, we willen met ST@@L kunnen inspelen op deze veranderingen. En dat hopen we op deze manier zeker te kunnen doen.

Q: Denk je dat we in de toekomst minder staal nodig zullen hebben?

A: We zouden natuurlijk geen nieuwe fabriek neerzetten als we dachten dat er binnenkort geen staal meer nodig is, maar ik denk dat we in de toekomst wel zullen gaan zien dat er minder vraag naar staal komt. Daarom is de capaciteit nu kleiner dan in de vorige fabriek.

Q: Kun je misschien toelichten waarom we in de toekomst minder staal gaan gebruiken?

Natuurlijk, we denken dat er verschillende redenen zijn. De belangrijkste is waarschijnlijk de opkomst van de circulaire economie, waardoor steeds meer onderdelen hergebruikt kunnen worden. Maar ontwikkelingen als de verregaande automatisering van onder andere de vervoerssector kunnen ook verschil maken. Als auto's zo veilig worden dat we minder veiligheidsmaatregelen in het ontwerp hoeven op te nemen dan is er veel minder staal nodig.



HOOFDSTUK 2

SCENARIO'S – OORZAAK EN GEVOLG

In de volgende hoofdstukken kijken we naar andere ontwikkelingen dan technologische. Want de toekomst wordt door meer bepaald dan door een nieuwe set aan technologieën. Als we ons energiesysteem er vol op inzetten om de afgesproken klimaatdoelstellingen te behalen, is de vraag welke invloed dat heeft op onze samenleving en ons leven. Andersom, zullen ontwikkelingen in de samenleving en onvoorziene uitdagingen een rol spelen bij de manier waarop technologieën geïmplementeerd gaan worden in het energiesysteem van 2050. Overheid, markt én burger spelen een belangrijke rol bij de totstandkoming van de verschillende mogelijke energiesystemen en bij de manier waarop we omgaan met uitdagingen.

De verschillende manieren om de klimaatdoelen te halen resulteren in verschillende energiesystemen. Het schetsen van toekomstbeelden is erg nuttig om een idee te krijgen van de impact van een emissievrij energiesysteem op de samenleving. Daarnaast zijn deze toekomstbeelden belangrijk om een idee te krijgen van de maatregelen die genomen moeten worden om uit te komen op een wenselijk systeem.

In deze toekomstverkenning is ervoor gekozen om middels een backcasting-studie te kijken naar verschillende transitieroutes en wat we hiervan kunnen leren omtrent onze keuzes. Bij een backcasting-studie wordt er vanuit de toekomstbeelden terug geredeneerd naar welke gebeurtenissen tot deze toekomst hebben kunnen leiden. Om een goed idee te krijgen van de actoren die een rol spelen in de energietransitie, is er tijdens de workshops gekozen om de gebeurtenissen in de transitiepaden in te delen volgens STEEP. Deze indeling staat voor Sociale, Technologische, Economische, Ecologische en Politieke factoren die plaats kunnen vinden. De indeling geeft inzicht in welke partijen een rol speelden in deze ontwikkelingen.

WAT ALS GAS VIER KEER ZO DUUR WORDT DOOR CO₂-BELASTING?
ZIJN ER DAN MENSEN DIE HET VERWARMEN VAN HUN
HUIS NIET MEER KUNNEN BETALEN OF...

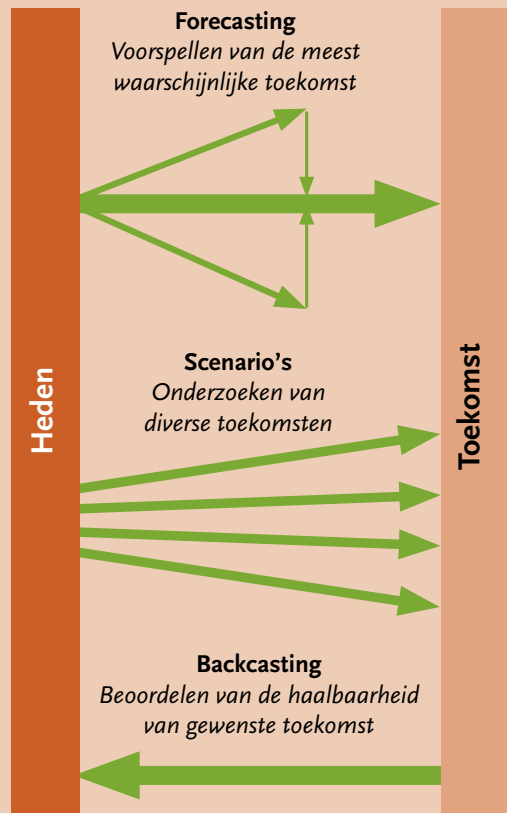
Toekomstverkennen en backcasting

Hoewel we over de toekomst weinig met zekerheid kunnen zeggen, richten zo goed als alle beslissingen in ons dagelijks leven zich op de toekomst. Deze connectie met de toekomst is ook in het bedrijfsleven en bij beleidsmakers erg belangrijk. Zij nemen daarom bij al hun beslissingen een visie op de toekomst mee. Om zo'n visie te vormen is het belangrijk om op een gestructureerde, wetenschappelijke manier naar de toekomst te kijken, de toekomst te verkennen.

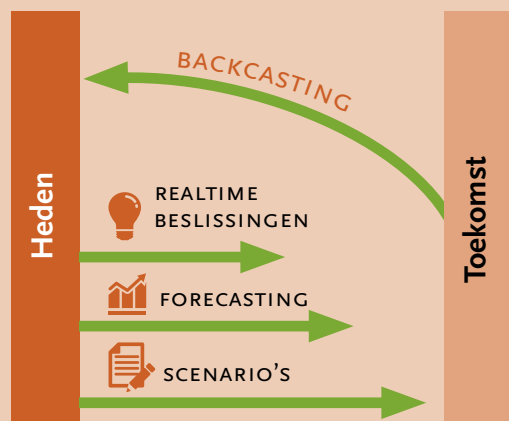
Er zijn verschillende methodes om toekomstonderzoek te verrichten, zoals de Delphi-methode, forecasting (ook wel trendanalyse genoemd) en de scenariomethode (Quist in [Duin, 2012]). In deze studie is gebruik gemaakt van de backcasting-methode. Deze methode wordt veelal toegepast wanneer er een duidelijke wens ligt voor de toekomst, zoals in het geval van een emissievrij energiesysteem in 2050. In figuur 14 en 15 is te zien wat het verschil in aanpak is voor bovengenoemde toekomstverkenningmethodes.

Wat de toekomst van energie ook uitermate geschikt maakt voor backcasting is dat de stip op de horizon nog erg ver weg is. Voor het behalen van de emissiedoelstellingen en het beperken van de gevolgen voor het klimaat is 2050 als ijkpunt genomen. Hiernaast zijn een aantal kortere-termijndoelstellingen zeer belangrijk, zoals het energieakkoord in Nederland waar doelstellingen voor 2020 in staan vastgelegd. Die moeten helpen om het uiteindelijke doel te behalen.

Bij backcasting is het belangrijk om te beginnen met een systemanalyse. Hoe ziet het



Figuur 14 Grafische weergave van de werkwijze van verschillende toekomst-verkenningmethodes



Figuur 15 Grafische weergave van verschillende toekomstverkenningmethodes

energiesysteem er nu uit, welke eigenschappen heeft het, waar zitten de problemen en welke trends zijn zichtbaar. Met deze systeemanalyse als basis is het mogelijk om verschillende scenario's op te stellen. In dit geval hebben we de gekozen oplossing centraal gezet in de scenario's, en dus emissievrije toekomstbeelden gemaakt. Het is mogelijk om vanuit slechts één toekomstbeeld te backcasten, maar vanwege de complexiteit van het energiesysteem en de grootte van de opgave die in de klimaatdoelstellingen besloten ligt, is gekozen om met meerdere toekomstbeelden te werken, zodat de transitiepaden onderling vergeleken kunnen worden. Om zo veel mogelijk variatie te creëren tussen de verschillende toekomstbeelden, zijn er twee variabelen gebruikt (centraal vs.

decentraal, en nationaal vs. internationaal) om tot vier enigszins extreme toekomstbeelden te komen. In workshops is met de backcasting-analyse gekeken naar manieren waarop deze toekomstbeelden tot stand gekomen kunnen zijn, waarbij in hoofdlijnen een 'wat-hoe-wie'-analyse is toegepast. Dit betekent dat naast definiëren wat er gebeurt is gedurende de transitie naar de toekomst, het ook belangrijk is om na te gaan hoe deze gebeurtenissen hebben kunnen plaatsvinden en welke actoren erbij betrokken waren.

Analyse van de vier beelden leverde verschillende transitiepaden op die onderling vergeleken konden worden om te zien welke trends belangrijk zijn om te signaleren en op welke gebieden ze spelen.

“In tegenstelling tot veel andere toekomstverkenningmethoden is bij backcasting plausibiliteit, de aannemelijkheid van een toekomstige ontwikkeling, minder belangrijk, omdat ook gezocht wordt naar wenselijke trendbreuken en hoe deze te faciliteren.”

– Jaco Quist in Toekomstonderzoek voor organisaties [Duin, 2012]



WAT ALS GEMEENTES DE ZEGGENSCHAP KRIJGEN OVER ENERGIETRANSITIE?
KRIJGEN WE DAN HEEL VEEL VERSCHILLENDE SYSTEMEN OF...

Trendvariabelen voor de toekomst

Om een zo breed mogelijke analyse te maken van mogelijke transitiepaden zijn er scenario's ontwikkeld die sterk van elkaar verschillen. Om dit te realiseren is er gekeken naar de belangrijkste trends in de energiewereld en hieruit zijn twee variabelen gekozen (centraal/decentraal en nationaal/internationaal). Door deze variabelen te combineren ontstaan er vier verschillende scenario's die de breedheid van mogelijkheden in het energiesysteem weergeven.

De eerste variabele is een centraal of juist decentraal geregeld energiesysteem. Voor deze variabele is gekozen omdat ons huidige energiesysteem centraal georganiseerd is, het opwekken van energie gebeurt grotendeels door grote marktpartijen. Daarnaast zijn transport en onderhoud van dit systeem in handen van overheidsinstanties die ervoor zorgen dat elke Nederlander aangesloten is op het energienetwerk. Inmiddels zien we steeds meer decentrale systemen opkomen. Consumenten en bedrijven produceren hun eigen energie, en wijken worden aangesloten op warmtenetten van een huisvuilcentrale. Deze veranderingen worden momenteel voor individuele projecten gestimuleerd door overheidssubsidies, omdat ze bijdragen aan de doelstellingen voor hernieuwbare energie.

Als tweede variabele is gekozen voor nationaal tegenover internationaal. We bewegen ons steeds makkelijker en vaker over de grenzen van ons land. Niet alleen fysiek doordat we steeds meer reizen, maar ook door de opkomst van internet is het aankopen van goederen van over de grens steeds normaler en leggen we steeds eenvoudiger virtueel contact. Op energiegebied werken we veel samen met landen om ons heen, en onze olie en kolen komen veelal niet uit nabijgelegen landen maar uit regio's als het Midden-Oosten en Zuid-Amerika. Naast deze steeds internationale oriëntatie zijn er echter ook geluiden die gericht zijn op een meer nationale – en minder internationaal afhankelijke – situatie. Door geografische onzekerheden willen we minder afhankelijk zijn van bijvoorbeeld Rusland voor gas, of van het Midden-Oosten voor onze olie. Ook politieke ontwikkelingen duiden op een grotere hang naar nationalisme, zoals het uit de EU stappen van Groot-Brittannië, polarisatie, en de opkomst van rechtse politieke partijen in verschillende landen. Ook in Nederland doen dit soort signalen zich voor.

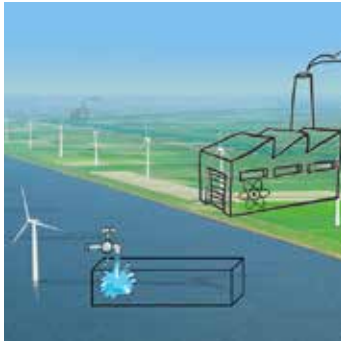
De twee variabelen zijn gekozen omdat hiermee vanzelf andere belangrijke onderwerpen aan bod komen die van belang zijn om zicht te krijgen op andere factoren in het energiesysteem. Zoals wat de verschillende rollen zijn van de markt en de overheid en welke impact de veranderingen hebben op verschillen tussen arm en rijk in de samenleving.

WAT ALS ER EEN MINISTERIE VAN ENERGIE KOMT?
ZULLEN ER DAN ENERGIEGEBIEDEN IN NEDERLAND TOEGEWEEZEN GAAN WORDEN OF...

Scenario's voor 2050

Het lijkt voor de hand liggend dat we een toekomst tegemoet gaan waarin een wisselwerking van de verschillende variabelen spelen. Om een goed gevoel voor oorzaak en gevolg te krijgen over beslissingen en ontwikkelingen die in de komende jaren op handen zijn, zijn de geformuleerde scenario's uitgewerkt tot de meest extreme uitersten. Daarnaast is de lat in de scenario's hoog gelegd door het energiesysteem in 2050 volledig emissievrij te laten zijn.

CENTRAAL



NATIONAAL

INTERNATIONAAL



DECENTRAAL

2050 – Nederland centraal

Dit betreft een nationaal en centraal georiënteerd scenario. De Nederlandse Noordzeekust staat vol met duurzame energiebronnen voor opwekking van energie, ook staan er installaties die zorgen voor opslag van energie. De opwekking gebeurt met grote windmolenparken, getijden- en golfenergie. Grote stuweilanden moeten zorgen voor seizoensopslag en oude olie- en gasplatforms zijn omgebouwd tot waterstoffabrieken. Verder zijn er op land een aantal kern(fusie)reactoren gebouwd. Er wordt beoogd om precies genoeg energie te produceren voor ons eigen gebruik.

WAT ALS VIRTUAL REALITY MASSAAL GEBRUIKT WORDT?
VERVANGT DIT DAN HET LUCHTVERKEER OF...

Woningen en bedrijfspanden worden niet meer gebruikt voor de opwekking van energie, ze zijn aangesloten op het centrale elektriciteitsnet. Verwarming gebeurt op verschillende manieren, afhankelijk van de locatie. Er zijn warmtenetten aangelegd, deze warmte komt uit ondergrondse bronnen of van de verbranding van bijvoorbeeld huisvuil. Voor andere locaties wordt het aardgasnetwerk gevoed met groen gas. Een groot gedeelte van de gebouwen is volledig geëlektrificeerd.

Personenvervoer is zelfrijdend en rijdt elektrisch of op waterstof. Er is een uitgebreid centraal netwerk met laadpunten aangelegd en op grote snelwegen is er een speciale baan waar auto's tijdens het rijden kunnen opladen. Goederenvervoer gebeurt over grote afstanden met elektrische treinen. Voor het vervoer van kortere afstanden worden vrachtwagens gebruikt die rijden op waterstof.

Het grootste gedeelte van de industrie is geëlektrificeerd. De niet-geëlektrificeerde industrie maakt gebruik van fossiele brandstoffen waarbij de vrijgekomen CO₂ wordt afgevangen en opgeslagen in lege aardgasvelden.

2050 – Wereldmacht

Dit betreft een internationaal en centraal georiënteerd scenario. Een wereldwijd hoogspanningsnetwerk faciliteert verregaande internationale samenwerking. Als onderdeel hiervan wordt energie opgewekt daar waar dit het beste kan doordat er zowel technologisch als beleidsmatig de juiste omstandigheden zijn. Grote kernfusiecentrales in de Ivoorkust; windenergie uit Denemarken; stuwmeren in Noorwegen; biomassa uit Canada; zonnecentrales in Saudi-Arabië. In Nederland wordt voornamelijk energie opgewekt door wind op zee. Om aan onze energievraag te voldoen importeren we op grote schaal duurzame energie. Wereldwijd worden geen fossiele brandstoffen meer gebruikt voor de energievoorziening.

De gebouwde omgeving is volledig geëlektrificeerd. Woningen en bedrijfspanden wekken geen eigen energie op, maar kopen alles in. Als gevolg hiervan is er veel geld geïnvesteerd in isolatie en besparing. Daarnaast zorgen slimme systemen voor een zo efficiënt mogelijk energieverbruik door apparatuur afhankelijk van het energieaanbod aan en uit te schakelen.

Door het grote aanbod aan elektriciteit is al het vervoer binnen Nederland geëlektrificeerd, van personenvervoer tot goederentransport. Om dit te faciliteren is een uitgebreid netwerk met laadpalen aangelegd. Ook tussen verschillende landen is vervoer gedeeltelijk geëlektrificeerd, en tussen een aantal belangrijke steden in de wereld zijn hyperloop-verbindingen gerealiseerd. Voor het resterende internationale vervoer worden biofuels gebruikt.

WAT ALS ER GEEN STAAL MEER NODIG IS DOOR OPKOMST ANDERE MATERIALEN?
KUNNEN WE DAN STOPPEN MET HET MIJNEN VAN KOLEN OF...

Industrie die afhankelijk is van hoge temperaturen bevindt zich niet meer in Nederland maar is verplaatst naar plekken waar met *concentrated solar power* die hoge temperaturen behaald kunnen worden. Andere vormen van industrie zijn volledig geëlektrificeerd.

2050 – Energie-eiland

Dit betreft een nationaal en decentraal georiënteerd scenario. Het energiesysteem is in Nederland erg zichtbaar, dit komt omdat er op heel veel verschillende locaties energie wordt opgewekt. Consumenten wekken zelf veel energie op of kopen het in van lokale leveranciers. Landeigenaren installeren op braakliggend land zonneweides en op het platteland zijn veel windmolens. Al deze verschillende energiestromen worden met een smart grid geregeld. Dit is nodig omdat brandstoffen schaars zijn en we geen energie willen importeren.

Het besparen van energie is net zo belangrijk als het produceren ervan. Op daken wordt elektriciteit en warmte gemaakt uit zonne-energie. Opslag vindt plaats met accu's, warmteputten en regeltechniek (bijv. koeling). Veel kleine innovaties zoals zonne-coatings op ramen en isolatiewanden voor buitenmuren helpen hierbij. Door al deze maatregelen zijn gebouwen in Nederland zelfvoorzienend of zelfs energieleverend.

Om zo efficiënt mogelijk om te gaan met energie wordt het delen van auto's veelvuldig toegepast. Dit heeft als gevolg dat het grootste gedeelte van het centraal geregeld ov verdwenen is, er zijn nog maar enkele treinverbindingen tussen de grootste steden in Nederland.

Door deze verregaande decentralisatie van het energiesysteem en de schaarste aan toegestane brandstoffen zijn steeds meer industriële processen gedecentraliseerd. Het systeem is ingericht op hergebruik van materialen (circulaire economie). De industrie is volledig geëlektrificeerd en veel kleinschaliger geworden. Daarvoor in de plaats is lokale on-demand-productie gekomen. Het smart-grid-systeem zorgt ervoor dat al deze elementen goed functioneren.

2050 – Samen sterker

Dit betreft een internationaal en decentraal georiënteerd scenario waarbij gebruik gemaakt wordt van een grote diversiteit aan energievormen en -bronnen. In Nederland maken we veel elektriciteit met zonne- en windenergie. Warmte halen we uit de grond. Ook importeren we energie in verschillende vormen, zoals elektriciteit, waterstof, biofuels en solar fuels.

WAT ALS NEDERLAND VOOR 50% ONDER WATER KOMT TE STAAN?
GAAN WE DAN OP ZEE WONEN OF ...

Deze producten komen overal uit de wereld vandaan.

De diversiteit aan energievormen is terug te zien in alle sectoren. Voertuigen zijn er in vele soorten, ze rijden op waterstof, elektriciteit en biofuels, ook zijn er hybride voertuigen die twee brandstoffen combineren. Veel woningen zijn voorzien van zonnepanelen en kunnen zelf elektriciteit opslaan. Het is mogelijk om energie te importeren en onderling uit te wisselen. De warmtevoorziening is deels geëlektrificeerd maar ook worden hiervoor groen gas en warmtenetten gebruikt. Slimme systemen organiseren dat er voldoende en juiste aanlevering is van de verschillende energievormen.

De grote diversiteit aan energiedragers zie je in de industrie terug, waar biomassa gebruikt wordt als grondstof voor de chemische industrie en als energiedrager. Veel industrievormen zijn geëlektrificeerd, maar ook andere technologieën zoals concentrated solar power worden gebruikt om hoge temperaturen te bereiken. Om transport van energie te beperken is de industrie daar gelokaliseerd waar de opwekking van energie plaatsvindt. Hierdoor is er wel een grote stroom aan goederen over de hele wereld.

Geschiedenis schrijven

Bovenstaande scenario's zijn geen wenselijke toekomstbeelden, het doel van deze scenario's is ook niet om te schetsen *hoe* we willen dat ons toekomstige energiesysteem eruitziet, maar slechts om te *leren* van de veranderingen. De lessen die we eruit trekken helpen daarna om tot een toekomst te komen waarin we wel graag willen leven.

De scenario's beschrijven alternatieve emissievrije energiesystemen in 2050, die gebaseerd zijn op ontwikkelingen die nu al te zien zijn. Waar ze niet op ingaan is hoe deze toekomst tot stand zijn gekomen en welke rol verschillende partijen hierbij spelen. De 'hoe'-vraag geeft inzicht in mogelijke effecten van huidige maatregelen en manieren waarop huidige trends gebruikt kunnen worden om een energiesysteem te creëren dat zowel emissievrij is als ook wenselijk.

Op de 'hoe'- en 'wie'-vraag hebben we tijdens verschillende workshops antwoorden gezocht. Deelnemers hebben daarvoor mogelijke transitiepaden uitgewerkt door te bedenken welke gebeurtenissen in de aanloopperiode naar 2050 hebben geleid tot de verschillende scenario's. Door overeenkomsten tussen de verschillende transitiepaden te vergelijken, is het mogelijk om trends en ontwikkelingen te vinden die kunnen helpen bij het maken van beleid.

WAT ALS OMWONENDEN MEEDELEN IN WINST
WINDMOLENS? IS ER DAN MINDER VERZET OF...

Voorbeeld van een tijdlijn (uit workshop)

Er zijn tijdens de workshops verschillende tijdlijnen gemaakt. Om een idee te krijgen van uitkomsten hieronder een voorbeeld van een tijdlijn gemaakt door deelnemers van de workshop 'Geschiedenis schrijven – Gebouwde omgeving' voor het centraal/internationale scenario *Samen sterker*.

De uitspraken zijn gerubriceerd naar Sociale, Technologische, Economische en Politieke factoren: STEEP.

2020

Door de uitspraak van een rechter¹ wordt de Nederlandse Staat verplicht gesteld zich te houden aan de doelstellingen voor CO₂-uitstoot en alle fossiele energiecentrales te sluiten.

STEOP: Sociaal – Politiek

¹ Dit is gebaseerd op een rechtszaak die Urgenda in 2013 aanspande tegen de Nederlandse Staat. De eis op tafel was 40% minder CO₂-uitstoot in 2020 vergeleken met 1990. De rechter ging in 2015 deels mee in deze eis maar verlaagde de verplichte uitstootvermindering naar 25%. De Staat is hiertegen in hoger beroep gegaan, dit hoger beroep liep ten tijde van het uitbrengen van deze publicatie nog.

2025

De gedachte ontstaat dat het opwekken van decentrale energie vooral is weggelegd voor de rijken en dat nationale inkoop van energie daarentegen leidt tot meer gelijke kansen.

STEOP: Sociaal – Politiek – Economie

2026

Bij de Tweede Kamerverkiezingen wint een partij die "zelf-opwek leidt tot ongelijkheid" als motto heeft.

STEOP: Sociaal – Politiek

2027

Het aanschaffen van particuliere zonnecellen wordt ontmoedigd doordat consumenten geld moeten betalen voor stroom die ze terugleveren aan het net².

STEOP: Economie – Technologie

² Momenteel is voor consumenten de prijs voor energie-afname gelijk aan energielevering. In de toekomst is het de verwachting dat voor het terugleveren aan het net consumenten minder geld gaan krijgen.

2030

Smart grids worden gehackt waardoor er een sterke roep komt om een zwaar beveiligd net.

STEEP: Technologie

3 Tennet is de Nederlandse netwerkbeheerder voor het hoogspanningsnet.

2032

Overname van TenneT³ door een buitenlands bedrijf, waardoor energie-import uit het buitenland wordt gestimuleerd.

STEEP: Economie

2035

Encrypted energy wordt uitgevonden waardoor het hoogspanningsnetwerk niet meer afgetapt kan worden.

STEEP: Technologie

2040

Door een gebrek aan andere investeringskansen ontstaat er overcapaciteit op de energiemarkt. Hierdoor wordt het kopen van energie goedkoper dan zelf produceren.

STEEP: Economie

2041

De burger kiest steeds vaker voor de laagste prijs i.p.v. voor eigen opwek.

STEEP: Economie

2047

Groot-Brittannië zet alle zeilen bij om weer terug te mogen komen in de EU.

STEEP: Politiek

2045

Decentrale energiesystemen worden in de EU afgeschaft en de EU wordt Electric Union.

STEEP: Sociaal – Politiek

2050

De CO₂-neutrale circulaire elektriciteitscentrale

Interview met Marieke de Groot, die net gestart is met haar nieuwe baan

Naar een idee van Richard van de Sanden (DIFFER)

Marieke is net afgestudeerd als energie- en omgevingsdesigner¹ en nu aangenomen om het team dat de nieuwe circulaire elektriciteitscentrale gaat ontwerpen te versterken. Hieronder vertelt ze waarom ze zo blij is met haar nieuwe baan.

“Het is een lastige klus, want om een goed en mooi ontwerp te kunnen maken van de centrale is een goed begrip van de werking belangrijk. Welke processen en welke goederenstromen zijn er. Nou ja goederen.... Elektriciteit is natuurlijk geen tastbaar goed. Maar het moet wel getransporteerd worden. En in dit geval geldt dat ook voor gas, water, en dan ook nog eens niet altijd via dezelfde route.

Het idee van de nieuwe centrale is om niet alleen elektriciteit te produceren voor direct gebruik maar ook om kooldioxide en water om te zetten naar methaangas en zuurstof². Het methaan wordt onder de grond opgeslagen in lagen met geschikt gesteente. In de winter wordt het gas weer in de centrale verbrand om elektriciteit op te wekken. Dit is

nodig om in de winter het tekort aan zonne-energie op te vangen en genoeg te kunnen produceren om alle benodigde warmte-energie te kunnen leveren.

Naast deze processen moet de kooldioxide die vrijkomt bij de verbranding weer via aparte routes opgeslagen worden, zodat die in de zomer weer ingezet kunnen worden om opnieuw methaangas te produceren. Een mooi proces, het cyclisch maken van elektriciteit naar methaangas om weer te verbranden tot elektriciteit. Ze zeiden altijd dat een perpetuum mobile niet bestond, maar dit klinkt toch wel aardig in die richting, de zonne- en windenergie krijgen we toch bijna voor niks.

Nu heb ik al een behoorlijk lang verhaal verteld, maar het belangrijkste waarom wij omgevingsdesigners zijn ingeschakeld, is omdat deze centrale aan de rand van de woonwijk moet komen. Een echte uitdaging om van de fabriek, windmolens en zonnepanelen iets moois te maken. Maar we hebben de eerste brainstormsessies al gehouden en het gaat geweldig worden.”

¹ Waar ons huidige energiesysteem – doordat centrales veelal in industriegebieden gesitueerd zijn – uit het zicht blijft, zal een toekomstig energiesysteem veel zichtbaarder worden. Er zal daarom waarschijnlijk ook meer aandacht komen voor vormgeving die we esthetisch mooi vinden.

² Het omzetten van elektriciteit naar brandstoffen wordt power-to-gas genoemd.

Verschillen in transitiepaden, de weg naar decentraal

Voor de decentrale scenario's zorgt een omslagpunt in de samenleving voor de start van de transitie. We zien dat dit omslagpunt voor de varianten nationaal en internationaal verschilt:

Decentraal-nationaal	Decentraal-internationaal
Bij het decentrale-nationale scenario is een grote drang naar onafhankelijkheid te zien. Deze behoefte is resultaat van toenemende geopolitieke spanningen. Vragen die hierbij naar voren komen zijn of we nog wel kunnen vertrouwen op de continue toevoer van voldoende brandstoffen uit het buitenland?	Bij het decentrale-internationale scenario komt het omslagpunt uit de klimaathoek waar vrijblijvendheid van de doelstellingen vervalst. Dit kan gebeuren doordat de rechtelijke macht verplichtingen oplegt of dat er een enorme ramp plaatsvindt die een direct gevolg blijkt te zijn van klimaatverandering.

De omslagpunten zorgen in de samenleving voor een sterke behoefte aan verandering. Er zijn twee kenmerken te identificeren die leiden naar een decentraal systeem. De eerste is een minder sterke inmenging van de overheid om het systeem vorm te geven. De overheid creëert de randvoorwaarden van het energiesysteem, maar laat de invulling over aan de vrije sector. De markt (en consumenten) worden dus meer verantwoordelijk voor de manier waarop het systeem ingericht wordt. Daarnaast zijn technologische doorbraken van belang. De doelstellingen worden in de scenario's behaald doordat de prijs van duurzame energie veel lager wordt en snelle decentrale implementatie door de vrije sector daadwerkelijk mogelijk wordt. De overheid heeft dus een belangrijke rol in het faciliteren van technologische innovaties en investeringsmogelijkheden.

Decentralisatie van de energiemarkt werkt in de scenario's ook door naar sectoren die veel energie gebruiken. Zowel de transportsector als de industrie in het algemeen krijgen te maken met grote veranderingen. Deze veranderingen verschillen voor de nationale en internationale benadering.

Nationaal	Internationaal
In het nationale scenario laten de routes zien dat langeafstandsvervoer steeds minder gaat plaatsvinden, wat een directe impact heeft op industrielocaties. Deze zullen meer lokaal worden en volledige elektrificatie is hiervoor essentieel.	In het internationale scenario zien we een toename van transport en om deze te verduurzamen ontstaat er een grotere diversiteit aan gebruikte brandstoffen. De industrie raakt internationaal verspreid.

WAT ALS WE NEDERLAND UITBREIDEN DE NOORDZEE IN?
GAAN WE DAT DAN VOL ZETTEN MET WINDMOLENS OF...

In onze decentrale energiesystemen is een belangrijke rol weggelegd voor ICT-bedrijven. Deze vervangen als het ware het centrale karakter van het huidige energiesysteem. Het belang voor continue energielevering blijft namelijk en dit vraagt om coördinatie van de verschillende decentrale opwek- en opslagfaciliteiten.

In de scenario's zorgt het behalen van de klimaatdoelstellingen niet alleen voor veranderingen in het energiesysteem. In de workshop opgestelde transitiepaden namen de deelnemers ook veranderingen mee die plaats gaan vinden in andere sectoren. De opkomst van veganisme en producten zoals kweekvlees kwamen veel voor in de transitiepaden. Deze ontwikkelingen zullen zorgen voor minder uitstoot van broeikasgassen in de agrarische sector doordat er een minder grote veestapel zal zijn.

Samengevat komt het erop neer dat voor een decentraal systeem de overheid in het begin een aanjagende rol moet innemen. De overheid moet afdwingen dat bedrijven en burgers veranderingen doorvoeren die passen in een duurzamer energiesysteem. Vanuit deze rol kan de overheid zich gaan richten op een controlerende rol waarbij ze zorgen dat de eerder opgestelde regels nageleefd worden.

Het risico van dit systeem is dat er achterblijvers zullen zijn ('haves' en 'have-nots'), mensen, gezinnen of bedrijven die niet in staat zijn geweest om tijdig hun leefomgeving en gedrag aan te passen aan het nieuwe energiesysteem. Bij een decentraal georganiseerd energiesysteem als wenselijke situatie, is dit een belangrijk punt om in de gaten te houden.

Verschillen in transitiepaden, de weg naar centraal

Bij de totstandkoming van ons centrale systeem zijn het ook omslagpunten die aanleiding geven tot verandering, namelijk:

Nationaal	Internationaal
Voor het nationale scenario is de drang naar onafhankelijkheid de trigger naar een nationaal ingericht energiesysteem, dit komt overeen met decentraal-nationaal-scenario. Polarisation en geo-politieke conflicten kunnen aanleiding zijn tot deze behoefte aan onafhankelijkheid.	Voor de internationale scenario's zijn strenge regels rondom het klimaat zoals een strenger ETS-systeem (<i>Emissions Trading System</i>) de drijfveer voor verandering.

WAT ALS ER MENSEN ZIJN DIE NIET ZELF IN DECENTRALE ENERGIE KUNNEN INVESTEREN?
WORDEN DIT DAN OUTCASTS IN DE MAATSCHAPPIJ OF...

Het EU ETS-systeem, European Union Emissions Trading System, is een manier om uitstootrechten van broeikasgassen te verhandelen. Het ETS is inwerking sinds 2005, met als doel om de uitstoot te belasten waardoor in theorie verduurzaming gestimuleerd wordt. Het werkt via een *cap-and-trade*-systeem waarbij rechten vastgelegd worden over hoeveel broeikasgas er uitgestoten mag worden. Bedrijven mogen onderling handelen in deze rechten. Sinds de invoering is er al veel kritiek op het systeem omdat er meer uitstootrechten op de markt zijn dan dat er emissies zijn. Hierdoor is de prijs voor uitstoot erg laag en is er geen (grote) prikkel voor bedrijven om de uitstoot te verminderen [European Commission, n.d.].

Vanuit de samenleving is er in deze centrale scenario's meer aandacht voor een sociale aanpak met een duidelijk vraag naar (betaalbare) duurzame energie voor iedereen. Zeker in het nationale systeem komt dit sterk naar voren. Hierdoor heeft de overheid in een centraal systeem in plaats van een aanjagende rol, een sterk sturende rol. De sturende rol van de overheid is in het gehele transitiepad aanwezig en vooral terug te zien in de vele investeringen om op grote schaal duurzame energie op te wekken.

Nationaal – technologie

Wat opvalt is dat er in de centraal-nationale transitiepaden minder aandacht is voor de ontwikkeling van nieuwe oplossingen. Dit komt doordat er is doorgedaan met duurzame ontwikkelingen die er al waren en die passen in het huidige centrale systeem.

Internationaal – technologie

De internationale route houdt veel meer ruimte voor innovatie en de ontwikkelingen gaan verder dan alleen nieuwe technologieën. Ook op sociaal en economisch vlak vinden meer ontwikkelingen plaats en er is in dit systeem meer ruimte voor innovatie en groei van nieuwe markten.

Nationaal – markt

Er zijn voor de markt investeringsmogelijkheden door de commitment van de overheid om een centraal-nationaal-systeem neer te zetten. Er is in deze scenario's minder geld beschikbaar voor onderzoek naar nieuwe energietoepassingen.

Internationaal – markt

In het internationale scenario werken overheid en markt intensief samen, waarbij termen als 'energiepact' genoemd worden. Het belangrijkste doel van de overheid is zorgdragen voor een betaalbaar energiesysteem.

WAT ALS IEDEREEN OFF-GRID GAAT?

IS DIT HET BEGIN VAN GEÏSOLEERDE LEVENS OF...

Intelligent samenleven

Keuzes in een off-the-grid-gemeenschap

Naar een idee van Maarten Moolhuysen (Essent)


Wilbur zet z'n bril uit. "Dat was me weer een dag", denkt hij. Ondertussen loopt hij naar de naastgelegen kamer. Leunend tegen de deurpost kijkt hij naar Cathy die nog vol in de cloud zit. Ze wonen nu net een jaar in deze community en het bevalt ze goed. Ze hebben elkaar in de grote stad leren kennen, maar omdat ze allebei VR-gedetacheerd¹ vanuit huis werken en wel wat anders wilden, zijn ze naar een plattelandsdorp verhuisd. Wilbur werkt als handelaar op de internationale energiemarkt en overlegt de hele dag met collega's van over de hele wereld om de laagste energieprijzen voor de industrie te bedingen. Cathy werkt als zelfstandig architect voor een project in Japan aan het ontwerpen van een drijvende stad.

Na een minuut of tien zet ook Cathy haar bril uit. "Sorry lieverd, ik moest nog even iets afmaken". Samen lopen ze naar buiten, het is een schitterende dag. De zon schijnt, in de tuin staat van alles in bloei, en een

aantal burens zitten aan de gemeenschappelijke solarpicknick-tafels te kletsen. Bijna iedereen hier in de community werkt net als Cathy en Wilbur vanuit huis. Ze zitten de hele dag binnen en willen na het werk graag buiten zijn en onder de mensen. Cathy ziet haar vriendin Lisa en loopt naar haar toe. Wilbert sluit zijn ogen en voelt de zon op zijn gezicht, dit is zo heerlijk.

"Hoi Lisa, moet jij vandaag nog een dienst draaien?" De community waarin ze wonen is volledig zelfvoorzienend. Niet alleen wat betreft energie zoals veel andere wijken, maar ook in voedselvoorziening. Om te zorgen dat het allemaal goed blijft draaien zijn er wel voorwaarden om in deze community te kunnen wonen. Iedereen in de community moet iets bijdragen aan de gemeenschap. Dit varieert van werken in de verticale tuin tot onderhoud van bijvoorbeeld de warmtekrachtcentrale en de zonnepanelen van de woningen. Of het hele logistieke proces eromheen. "Nee ik ben vrij vanavond, en jij?" wil Lisa weten. "Ik moet zo nog even naar de algoritmes kijken, maar de rest van de week heb ik geen diensten". Cathy draagt bij als

¹ Thuiswerken of flexwerken gebeurt tegenwoordig al steeds meer. Door de opkomst van *Virtual Reality* is het mogelijk dat werken op locatie nagenoeg komt te vervallen.



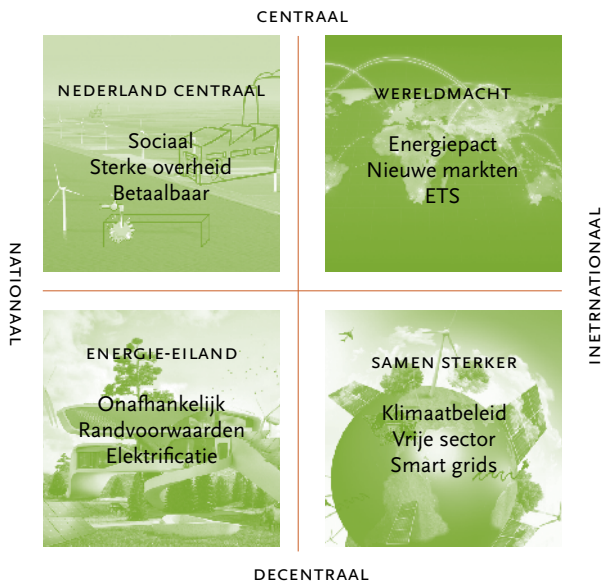
AI-ingenieur. Doordat de community niet meer aan het centrale energienet zit, is het belangrijk om zelf de dag- en nacht- en seizoenswisselingen te kunnen opvangen. Piekvraag en aanbod van energie liggen niet automatisch op één lijn. Daarom is de community voorzien van een smart grid. En Kunstmatige Intelligentie regelt dat vraag, aanbod en opslag zo efficiënt, maar ook zo eerlijk mogelijk zijn. Het systeem leert snel en verandert bijna dagelijks de verdelingsalgoritmes.

Het team waar Cathy in zit controleert de verdeelsleutel. Het is al een paar keer gebeurd dat het AI-ingenieursteam moest ingrijpen omdat de keuzes misschien wel 'slim' waren maar niet per se gewenst door de bewoners van de community. Vorige winter bijvoorbeeld werd bij een groot gedeelte van de alleenstaanden de verwarming afgesloten omdat er meer warmte nodig was voor de kassen. Wat bleek? Het AI-systeem had berekend dat ieder persoon recht had op een bepaalde hoeveelheid warmte. Maar alleenstaanden verbruiken om hun woning te verwarmen bijna evenveel energie als gezinnen, dus per persoon

veel meer. Het AI-systeem vond het dus 'eerlijk' dat deze mensen tijdelijk werden afgesloten². De oplossing was eenvoudig, het AI-systeem kijkt nu niet alleen per hoofd, maar ook per woning naar de energieverdeling.

"Ik moet nu echt gaan" zegt Cathy. "Maar wat dacht je ervan om morgen wat te gaan doen samen? Ik zat zelf te denken aan een uurtje energy-biken en daarna een biertje." "Dat lijkt me super, tot morgen!" roept Lisa terwijl Cathy alweer wegloopt.

² Ethiek is een belangrijke vraag als het gaat om Kunstmatige Intelligentie. Want hoe definieer je eerlijk?



Leren van de toekomst

De toekomst voorspellen kan weliswaar niet, maar voor alle omslagpunten die in de workshops naar voren kwamen zijn nu al signalen te zien. Denk hierbij aan rechtelijk bindende afspraken over uitstoot, een strengere ETS-systeem, onstabiele situaties in het Midden-Oosten en Rusland. Het is zeker voorstelbaar dat deze omslagpunten zullen plaatsvinden in de komende vijf jaar en de bijbehorende transitiepaden kunnen daarom goed dienen om te leren van de toekomst.

Uit de transitiepaden komt naar voren dat de rol van de overheid zeer belangrijk is bij het tot stand komen van een toekomstig energiesysteem. Aangezien de scenario's uit de workshops geen ideaalbeelden zijn, is het belangrijk dat de Nederlandse overheid niet wacht tot externe factoren de kaders van ons toekomstige energiesysteem bepalen, maar zelf haar standpunt bepaalt.

Dat er een grote rol voor 'Den Haag' wordt gezien in de scenario's, betekent niet dat er geen verantwoordelijkheden bij de markt en de burger liggen. De scenario's laten grote verschillen zien in hoe de markt en burger invloed hebben. Momenteel wordt er door consumenten en bedrijven veel geïnvesteerd in het zelf opwekken van energie en het efficiënter maken van processen. Het is van belang dat de markt en de burger niet alleen investeren, maar ook de verantwoordelijkheid nemen om samen met de overheid te bepalen aan welke voorwaarden het toekomstige energiesysteem moet voldoen.

In hoofdstuk 4 staan de aanbevelingen voor de overheid, markt en maatschappelijke organisaties. Deze zijn voor een groot gedeelte gebaseerd op de uitwerking van de scenario's.

Energierijk Thorium

Een kijkje in de werkdag van Chao

Het is vroeg als de wekker gaat, maar Chao lag al even wakker want het is een spannende dag vandaag. Chao werkt als uitvoerder bij NTM, Nederlandse Thorium Maatschappij, en vandaag wordt de vijfde thoriumreactor¹ van Nederland in bedrijf genomen. Chao is verantwoordelijk voor de technische aspecten van de opening. Erg spannend omdat de pers er bij aanwezig zal zijn. Ze komen op het verhaal van de president af dat hij zal houden voordat de reactor wordt opgestart. De rode knop die hij daarna indrukt is vooral symbolisch, achter de schermen zal het team van Chao het echte werk doen.

“Okay dames en heren, zijn we er klaar voor?” Een team van 10 medewerkers zit achter grote touchscreens klaar om de reactor te starten. Chao houdt ondertussen het grote scherm in de gaten waarop de president te zien is.

“... Het is een belangrijk moment op weg naar een rijke toekomst voor de Energie Republiek Nederland. De meesten van ons weten nog wel dat de weg naar ons geweldige energiesysteem niet geheel soepel liep. De grote weerstand tegen windmolens in het landschap en fossiele brandstoffen die met hun

fijnstof een negatieve invloed hadden op onze gezondheid. Het is goed dat we nu in een tijd leven waar vervuilende emissies ten strengste zijn verboden en dat we nu een technologie hebben die ons voorziet van veilige en goedkope energie!”

“Okay mensen, hij is bijna klaar met zijn speech, zijn we er klaar voor?” Chao is gespannen, maar hij weet dat ze er klaar voor zijn. De zeewaterkoeling draait al een paar dagen. Het industriële complex dat moet voorzien in de thermische energievraag is er klaar voor. “3... 2... 1... opstarten maar!” Iedereen weet precies wat er moet gebeuren en de opstart gaat vlekkeloos. De vijfde thoriumreactor van Nederland draait.

Na afloop komt de president nog even de controlekamer binnenlopen. “Goed gedaan allemaal! Deze reactor – en dus jullie werk – betekent veel voor Nederland, we kunnen nu volledig in onze energievraag voorzien en de sanering van de windmolens kan nu eindelijk beginnen. Onder ons gezegd komt dit met de verkiezingen op komst heel goed uit, want het publieke debat werd steeds grimmiger. Top gedaan!”

¹ Thoriumreactoren worden ook wel gesmolten-zoutreactoren genoemd. Ze lijken in veel aspecten op de huidige kernreactoren, maar door het gebruik van een andere brandstof wordt het proces veiliger (geen risico meer van een run-away-reactie) en het geproduceerde afval is veel minder lang schadelijk.



HOOFDSTUK 3

KLIMAAT VAN VERANDERING

Hoofdstuk 2 ging in op de resultaten van de backcasting-studie, waarbij duidelijk werd dat de energietransitie niet alleen over implementatie van technologie gaat. Het vormgeven van het totale toekomstige energiesysteem en de rol van dit systeem in onze samenleving zijn net zo belangrijk – zo niet belangrijker – om te zorgen dat het een goed werkend systeem wordt.

In Nederland moet een duidelijke visie komen, zodat implementatie van de daarbij behorende maatregelen kan beginnen. De weg naar 2050 is nog lang en er zijn een aantal obstakels die grote invloed kunnen hebben op de uitrol van het toekomstige energiesysteem. Het is van belang hierop te anticiperen en open te staan voor innovaties en nieuwe mogelijkheden die hierdoor zullen komen. In dit hoofdstuk gaan we dieper in op een aantal van de obstakels en de rol die technologie hierbij kan spelen.

“Hoewel men er in het algemeen voorstander van is dat de overheid maatregelen neemt om milieu en duurzaamheid veilig te stellen, blijken acceptatie problematischer en draagvlak dunner zodra dit neerslaat in concrete maatregelen die men nadelig acht voor de eigen omgeving.”
– Groen denken, groen doen en het ‘groene gat’ [WRR, 2015]

Uitdagingen genoeg

Bij de STT-studie *Horizonscan 2050* [STT, 2014] is gekeken naar de grote werelduitdagingen die in de toekomst verwacht kunnen worden en welke signalen voor verandering er al zichtbaar zijn. Deze uitdagingen worden ook wel *Grand Challenges* genoemd en hebben een effect op de toekomst.

Ook andere organisaties hebben gekeken naar grote uitdagingen. Zo houdt het World Economic Forum geregeld enquêtes onder haar leden (1000 internationale bedrijven) over wat de belangrijkste trends en risico’s zijn die globale ontwikkelingen kunnen beïnvloeden [WEF, 2017].

WAT ALS VERDERE VERSTEDELIJKING DOOR GAAT?
GAAN WE DAN MEER ZONNEVELDEN PLAATSEN OF...

Hieronder de grootste uitdagingen – volgens STT en WEF – waarmee we in de toekomst te maken gaan krijgen:

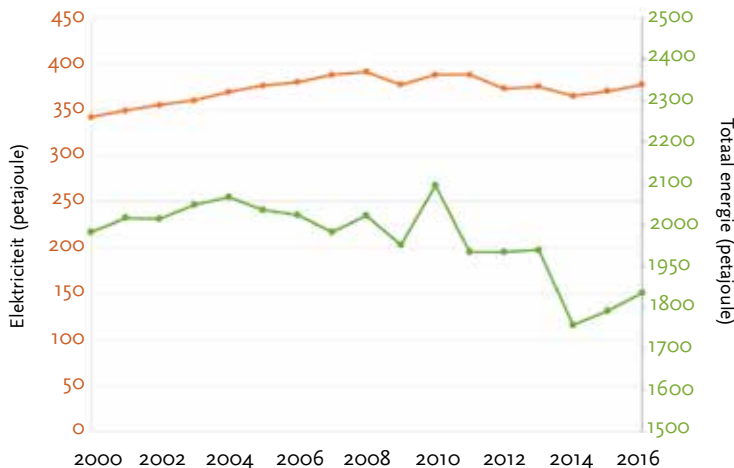
1. **Gevolgen van klimaatverandering** – Gebieden die onbewoonbaar worden met als gevolg toenemende conflicten, grote aantallen klimaatvluchtelingen en het instorten van de stabiliteit van landen.
2. **Demografische veranderingen** – Toenemende levensverwachting zorgt ervoor dat er steeds meer ouderen in de samenleving komen. In de westerse wereld krijgen we daarnaast in totaal minder kinderen waardoor er een verschuiving ontstaat in de samenstelling van onze populatie. In de rest van de wereld groeit de bevolking door.
3. **Stijgende inkomens en ongelijke verdeling van rijkdom** – Risico op werkloosheid in bepaalde bevolkingsgroepen en tegelijkertijd onderbezetting voor bepaalde functies kunnen zorgen voor grote sociale instabiliteit.
4. **Schaarste aan grondstoffen** – Deze uitdaging bestaat uit twee facetten. Enerzijds de eindigheid van grondstoffen, maar anderzijds het feit dat veel grondstoffen gewonnen worden in regio's met een grote politieke instabiliteit.
5. **Mondiale machtsverschuivingen** – Een werelddeel zoals Azië krijgt steeds meer macht terwijl er tegelijkertijd nog steeds veel oorlogen zijn.
6. **Nieuwe connectiviteit** – Door steeds snellere ontwikkelingen in de ICT zullen toekomstige generaties steeds flexibeler moeten zijn. Daarnaast kan de toenemende afhankelijkheid van digitalisering leiden tot het falen van nationale overheden en grote sociale instabiliteit.

Een aantal van deze trends en uitdagingen kunnen een directe impact hebben op ons energiesysteem. Klimaatverandering als drijvende kracht achter de wens ons energiesysteem aan te passen is al veelvuldig aan bod gekomen in de vorige hoofdstukken. In dit hoofdstuk gaan we dieper in op andere belangrijke uitdagingen: toename wereldbevolking, schaarste, machtsverschuivingen, en gedrag. Waarbij we vooral kijken naar de impact op het energiesysteem. Waar mogelijk wordt ingegaan op de technologische innovaties die wellicht een oplossing kunnen bieden voor deze uitdagingen.

Steeds meer mensen

In het algemeen neemt het energieverbruik in Nederland op dit moment langzaam af. Voor het verbruik van elektriciteit zien we echter dat het verbruik langzaam toeneemt (zie figuur 16). Een belangrijke vraag is of de toename van elektriciteitsgebruik

WAT ALS KUNSTMATIGE-INTELLIGENTIE-SYSTEMEN PRIORITEITEN
GEEN STELLEN VOOR ONS (DEMOCRACY-BY-DESIGN)?
HALEN WE DAN DE DOELSTELLINGEN AL IN 2040 OF...

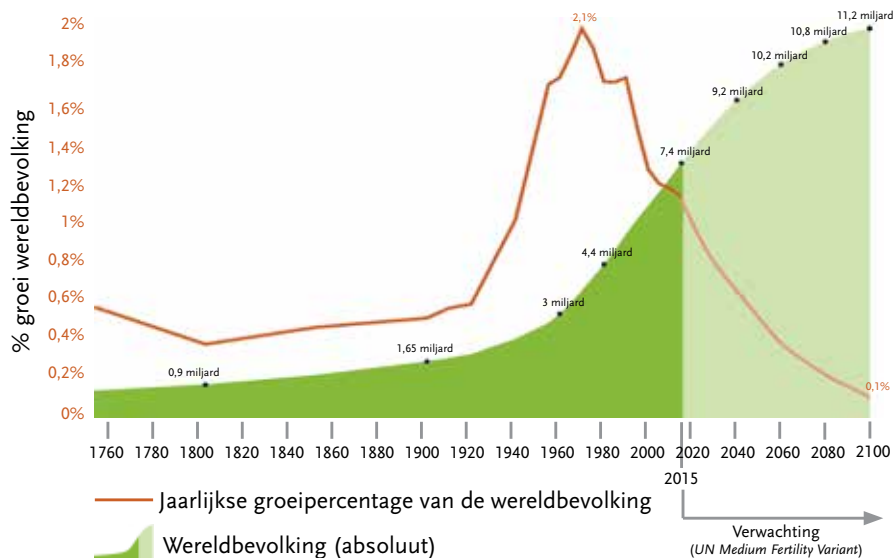


Figuur 16 Totale energieverbruik in Nederland sinds 2000 [CBS StatLine, n.d.]

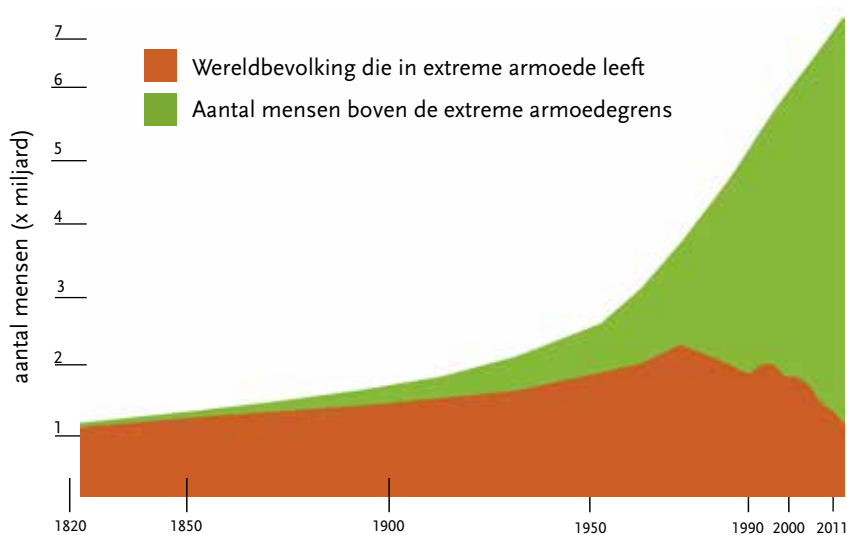
zo groot zal zijn dat het totaal energieverbruik zal gaan stijgen. Elektrische apparaten vormen een steeds belangrijker onderdeel van ons dagelijks leven. Consumenten gebruiken steeds meer smartphones, tablets, gadgets zoals slimme horloges en elektrische auto's [CBS, 2016b]. Voor een deel vervangen deze nieuwe apparaten bestaande (oude) apparaten, maar er zijn er ook veel nieuwe apparaten met nieuwe functies. Het is niet alleen de consument die meer elektriciteit gebruikt, ook in de industrie worden steeds meer processen geëlektrificeerd wat zorgt voor een toename van elektriciteitsgebruik.

Naast de groei van elektriciteitsgebruik in het huidige energiesysteem zijn er nog meer factoren die in de toekomst zullen bijdragen aan het toenemende gebruik van elektriciteit en die hun weerslag zullen hebben op het totale energiegebruik. Figuur 17 laat zien dat op basis van demografisch ontwikkelingen er de komende decennia een enorme groei van de wereldbevolking te verwachten is. Momenteel zijn er ongeveer zeven miljard mensen op de wereld en naar verwachting zal dit in 2050 gegroeid zijn richting de negen miljard mensen [Our World in Data, 2017]. Dit heeft directe en indirecte gevolgen voor het energiegebruik. Denk bijvoorbeeld aan de veel grotere voedselproductie die nodig is hetgeen ook meer energie kost. Een tweede ontwikkeling die voor een toenemende vraag naar energie zal zorgen is welvaartstijging. Van de momenteel zeven miljard mensen krijgt een steeds groter aantal de financiële middelen om mee te gaan in de ontwikkelingen die er zijn, zie figuur 18. Het is aannemelijk dat deze mensen door meer comfort in huis en toegang tot bijvoorbeeld internet en vervoer, meer energie zullen gaan gebruiken. Als indirect gevolg zullen de industrie en de dienstensector, om aan de toenemende

WAT ALS SMART GRIDS (SLIMME METERS) WORDEN GEHACKT?
ZIJN WE DAN VOLLEDIG HULPELOOS OF...



Figuur 17 Verwachte groei en groeisnelheid van de wereldbevolking [Our World in Data, 2017]



Figuur 18 Overzicht van de wereldbevolking die in grote armoede leeft [Our World in Data, 2017b]

vraag naar toepassingen te kunnen voldoen, meer energie gaan verbruiken. Er zijn ook andere trends die kunnen bijdragen aan een hogere energieconsumptie, zoals de verwachting dat er in 2050 steeds meer kleine huishoudens zullen zijn [CBS, 2007]. Meer huishoudens betekent meer energieverbruik omdat er meer verwarmd moet worden, meer apparaten, etc.

Interview: Luus Arroyo – ambtenaar energie en ruimtelijke ordening

28 mei 2033

Afgelopen mei werd de nationale energieresolutie aangenomen. Vandaag een interview met Luus Arroyo, wethouder Energiezaken, over gevolgen hiervan voor Klein Molenveen.

Q: mevrouw Arroyo, wat betekent de resolutie voor gemeenten?

A: We hebben in de voorbereidingsperiode voor deze wet geprobeerd zo duidelijk mogelijk te krijgen welke taken er nationaal geïmplementeerd zullen worden en welke er bij de gemeente terecht zullen komen. En – niet verrassend – alle controle en uitvoering van wetgeving over woningaanpassing, energiegebruik, CO₂-uitstoot en ruimtelijke ordening komen bij de lagere overheden terecht.

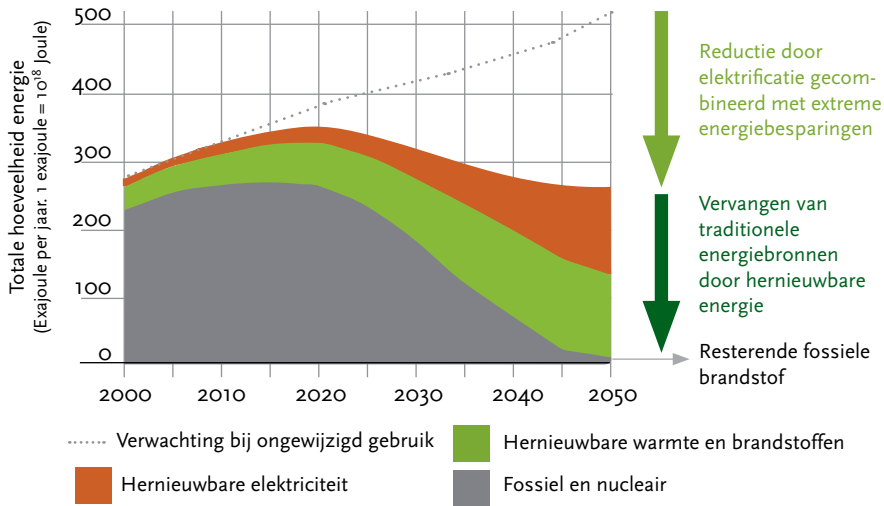
De normen bij aankoop, of het nu om huizen of apparaten gaat, dat hoort door de overheid vastgelegd te worden, en controle daarop – in ieder geval op apparaten – hoort ook bij hen. Maar wie er verantwoordelijk is voor de uitvoeringskwaliteit bij huizen, dat is nog een heikel punt. De gemeente kan in het kader van vergunningen allerlei eisen stellen, maar in het verleden is wel gebleken dat we het waarborgen en bewaken van die kwaliteit niet bij aannemers en verkopers kunnen leggen. Hier ligt dus wel een uitdaging.

Q: Als ik het goed begrijp, komen er dus een hoop taken naar de gemeente?

A: Ja, maar vergeet niet: veel ervan is een uitbreiding van al bestaande taken. We hielden ons al veel langer bezig met het stimuleren van reductie van emissies. De kennis is dus voorhanden, al zal er in personele zin wel gekeken moeten worden hoe dit in te passen is. Nu komt er ook woningaanpassing en bouw- en woningtoezicht bij en dat is een forse taakuitbreiding.

Q: En hoe gaat dit passen binnen de gemeentelijke begroting? Bewoners moeten dure maatregelen nemen om hun huis energie-neutraal te maken, niet iedereen zal daarvoor het geld hebben. En dan ook nog hogere gemeentebelastingen?

Nou, qua investeringen moet je niet vergeten dat die zichzelf terugbetalen. En vanuit de rijksoverheid komen er subsidieregelingen en goedkope leenmogelijkheden, daar verwacht ik niet zoveel problemen. Die gemeentebelasting... Wellicht valt er nog wat te verwachten van Europese subsidies... het dient natuurlijk een groter belang dan alleen het onze als het ons lukt om CO₂-neutraal te worden.



Figuur 19 Verwacht energiegebruik en benodigde efficiëntie in 2050 [ECOFYS, 2011]

Als deze waarschijnlijke toename van energiegebruik tegen het licht wordt gehouden van de klimaatdoelstellingen in 2050 dan ligt hier een grote uitdaging. In figuur 19 is een extrapolatie te zien van de hoeveelheid energie die we denken te gebruiken in 2050 en de efficiëntie die dan bereikt moet worden om toch aan de emissiegrens te voldoen die bij de doelstellingen van 2050 hoort. In dit figuur is de groeiende wereldbevolking en welvaart meegenomen. Als de enorme toename in digitalisering doorzet zou de verwachting van energiegebruik in 2050 misschien nog wel wat hoger kunnen uitkomen.

Toch is de benodigde reductie (lichtgroene pijl in figuur 19) niet onmogelijk. Op het gebied van energie-efficiëntie vinden veel ontwikkelingen plaats. Apparaten worden steeds zuiniger, slimme systemen kunnen helpen efficiënter ermee om te gaan en ook in de industrie is er veel aandacht voor het verminderen van energiegebruik. Daarnaast zijn er mogelijkheden in opkomende regio's (ontwikkelingslanden) waar nu nog geen goed energiesysteem aanwezig is, om een energiesysteem aan te leggen dat gebaseerd is op nieuwe technologieën in plaats van de conventionele systemen die al in gevestigde economieën bestaan.

Schaarste

Ongeacht welke richting het energiesysteem in 2050 op zal gaan, is het voor de hand liggend dat er een enorme toename van zonnepanelen, batterijen, slimme

WAT ALS ER EEN MINISTERIE VAN ENERGIE KOMT?
KOMT ER DAN MEER GELD VOOR INNOVATIE OF...

meters en meer toepassingen zal zijn. Dit veroorzaakt weer een andere uitdaging: deze nieuwe toepassingen gebruiken andere grondstoffen dan toepassingen in het huidige energiesysteem. Grondstoffen als lithium, zilver en koper (en vele anderen) worden gebruikt in veel elektronische apparaten, en zijn ook nodig voor veel van onze energie-innovaties zoals zonnepanelen en batterijen. Hierdoor ontstaat er een grote toename in de vraag van deze grondstoffen en kan er schaarste ontstaan [PBL, 2012].

Schaarste heeft niet alleen te maken met hoeveel er op de wereld is van bepaalde stoffen. Het moet ook rendabel zijn om het materiaal te winnen. Er is om goud te winnen uit erts steeds meer energie nodig doordat de kwaliteit van de nog beschikbare erts steeds minder wordt [Casey Research, 2013]. Maar ook eisen aan arbeidsomstandigheden en milieurestricties kunnen ervoor zorgen dat er niet genoeg op rendabele wijze gewonnen kan worden.

Om te zorgen dat deze schaarste geen negatieve invloed heeft op de transitiesnelheid naar een emissievrij energiesysteem en dat nieuwe technologieën geïmplementeerd kunnen blijven worden, zijn er een aantal punten waar de komende jaren nog meer aandacht voor moet komen. Ten eerste is het belangrijk dat er meer onderzoek wordt gedaan naar vervangende materialen die in deze toepassingen kunnen worden gebruikt. Materialen waarmee dezelfde functionaliteit gehaald kan worden maar waarbij er een minder grote kans op schaarste is.

Een voorbeeld van onderzoek waarbij gekeken wordt naar andere materialen is bij zonnecellen. Tot nu toe werd in zonnecellen meestal zilver gebruikt om de stroom door de cel te geleiden, het is gelukt om het zilver te vervangen door koper waardoor de zonnecel duurzamer (en goedkoper) wordt [ECN, 2013].

Als tweede moet er meer aandacht komen voor hergebruik. Belangrijker nog dan het scheiden van afval (al dan niet direct door de consument) is dat er veel meer aandacht moet komen voor het economisch meer rendabel maken van het recyclingproces. Hiervoor moet al in de ontwerpfase van technologieën rekening gehouden worden met de recyclebaarheid van alle componenten. Dit kan gebeuren door losse onderdelen van een product makkelijk vervangbaar te maken, waardoor producten langer gebruikt kunnen worden. Maar ook door producten zo te ontwerpen dat bij het recyclen de schaarse grondstoffen makkelijk teruggewonnen kunnen worden.

De groene snelweg

Mijmeringen uit 2050

Vroeger zeiden ze dat het in de toekomst allemaal anders zou zijn, maar eigenlijk valt dat best wel mee. Kijk maar eens naar hoe we ons vervoeren, er rijden namelijk nog steeds fietsen, auto's en bussen. Tussen de grote steden rijden nog treinen en ook vliegen doen we nog steeds.

Er zijn in de tussentijd natuurlijk toch wel wat dingen veranderd... In Europa zijn op een aantal plaatsen *hyperloop*verbindingen¹ aangelegd en waar we vroeger nog in het bezit waren van een auto zien we vervoer nu veel meer als een dienst. Want hoe makkelijk is

het om binnen vijf minuten een auto voor de deur te hebben, maar nooit meer te hoeven zorgen voor onderhoud en tanken.²

Omdat de auto's zelfrijdend en elektrisch zijn geworden, regelen ze dat helemaal zelf.

1 Het idee van de hyperloop is van een soort metro maar waarbij de cabine in een vacuümbuis door magneten voortgestuwd wordt, en er enorm hoge snelheden behaald kunnen worden, wel tot 1200 km per uur.

2 De ontwikkeling van product naar dienst zien we tegenwoordig al opkomen. Bij muziek bijvoorbeeld waarbij de cd wordt vervangen door de streamingdienst. Als deze trend zich doorzet dan hebben de meesten van ons in de toekomst geen eigen auto meer. Alleen hobbyisten hebben dan nog een racekar of een mooie oldtimer.

Nu ik erover nadenk is er misschien toch best veel veranderd, je staat er alleen niet zo bij stil. Doordat we auto's tegenwoordig inhuren wanneer we ze nodig hebben zijn heel veel parkeerplaatsen overbodig geworden, en die ruimte is gebruikt om bredere stoepen aan te leggen en meer plantsoenen te maken. Het straatbeeld is hierdoor behoorlijk veranderd.

Ook zijn er veel minder tankstations, ze bestaan nog wel hoor, voor de hobbyisten met hun oldtimers, maar deze zullen langzaam verdwijnen omdat drones steeds meer bestellingen bezorgen en dus ook brandstoffen kunnen afleveren. Op de snelweg kunnen auto's als ze energie nodig hebben op de laadlaan rijden, en wordt de accu tijdens het rijden opgeladen.³ Meestal is dit niet nodig omdat een auto als hij even geen passagier heeft naar één van de vele parkeerflats gaat en daar oplaadt.

Misschien is dat wel de vooruitgang, die nieuwe technologieën zijn zo vanzelfsprekend dat je het idee krijgt dat alles hetzelfde blijft.

3 Inductieplaten in de weg kunnen gebruikt worden om auto's op te laden, deze toepassing is nu al mogelijk. In o.a. Utrecht is al een test geweest waarbij elektrische bussen tijdens hun ritten opladen.

Het idee van de circulaire economie is dat een product niet gemaakt wordt alleen voor gebruik, maar ook na gebruik moeten alle componenten weer hergebruikt kunnen worden (*cradle to cradle*). Het gaat hierbij niet alleen om technologische aspecten, er zijn andere verdienmodellen nodig, onder door andere veel samenwerking in de productie- en recycleketen en door andere manieren van producten aanbieden (zoals leasen) [Circulair ondernemen, n.d.]

Als derde optie is het ook nog mogelijk om buiten onze planeet te kijken voor oplossingen. Dit lijkt wellicht niet de meest voor de hand liggende optie voor het oplossen van schaarste. Maar op de maan en eventueel in de verre toekomst op andere planeten zijn nieuwe locaties te vinden voor het innen van deze grondstoffen, 'moon mining'. Het is nog lang niet rendabel om dit te overwegen, maar wanneer schaarste van grondstoffen toenemend voor problemen zorgt in de wereld is het niet ondenkbaar dat we verder gaan kijken.

Wie heeft de macht?

In het huidige energiesysteem zijn grote bedrijven en overheden verantwoordelijk voor de energielevering en hiermee ligt er veel macht bij deze partijen. Met het winnen van fossiele brandstoffen wordt veel geld verdiend, door een transitie naar een ander energiesysteem – een energiesysteem zonder fossiele brandstoffen – kan de macht tussen landen verschuiven met het risico van instabiliteit in bepaalde regio's of zelfs mondiaal. De energietransitie kan ook leiden tot nieuwe kansen voor veel landen. In het Midden-Oosten, waar veel geld wordt verdiend met olie, hebben landen geografisch gezien een uitstekende positie voor de opwekking van zonne-energie en kunnen dit als exportproduct inzetten. Maar juist ook landen die nu nog erg arm zijn maar grote mogelijkheden hebben voor de toepassing van zonne-energie kunnen in de toekomst een hele andere rol krijgen in de wereld.

Technologie als drijfveer voor macht

Niet alleen geografische aspecten spelen een rol in wie de macht heeft. Ontwikkelingen op technologisch en sociaal vlak kunnen ook verschuivingen in macht veroorzaken. Op het gebied van technologische ontwikkelingen gaat het vooral over het decentrale karakter van duurzame energie en de mogelijkheid voor individuen om tevens producent te worden. Het zijn niet alleen eigen woningen en bedrijven die zelfvoorzienend kunnen worden, maar ook kunnen investeringscollectieven tot kleine energiecoöperaties leiden. Hierdoor kunnen kleine groepen

WAT ALS KLIMAATVERANDERING EEN MAN-OP-DE-MAAN-PROJECT WORDT?
VERANDEREN WE HET ENERGIESYSTEEM DAN VOLLEDIG BINNEN EEN KORTE TIJD OF...

steeds meer inspraak krijgen en dit kan leiden tot minder macht voor grote bedrijven. Technologische ontwikkelingen hebben deze ontwikkeling in gang gezet en vormen de drijfveer voor mensen om hier wat mee te doen. Hoe veelvuldig dit zal gebeuren is afhankelijk van onze behoeftes. Zal de drang naar autarkie – volledige onafhankelijkheid – toenemen of zal juist de behoefte om meer samen te werken toenemen?

Nieuwe technologische toepassingen in de industrie- en dienstensector kunnen ook een verschuiving van macht teweegbrengen. Elektrificatie van de industrie en de opkomst van 3D-printen kunnen in veel sectoren zorgen voor decentralisatie van productieprocessen, met mogelijkheden voor nieuwe groepen ondernemers. Digitalisering maakt het mogelijk dat bedrijven als Uber niet zelf hoefden te investeren in auto's om toch een vervoersdienst te kunnen aanbieden. Hierdoor wordt de eigenaar van de auto onderdeel van de onderneming. Als in de toekomst een veelheid aan kleine start-ups een veel belangrijkere rol in de markt innemen, heeft dit grote veranderingen in de huidige markt en de daar bijbehorende economie ontstaan. Indirect hebben deze ontwikkelingen hun werking op het energiesysteem, waar veel flexibiliteit nodig zal zijn.

Machtsverschuivingen kunnen grote uitdagingen met zich meebrengen, maar ze bieden ook kansen. Nieuwkomers kunnen hierdoor een rol krijgen binnen het toekomstige energiesysteem, ze kunnen processen versnellen. Mits overheden goed op de hoogte zijn van (technologische) ontwikkelingen en een goed idee hebben van de impact van ontwikkelingen zoals de digitalisering van de energiemarkt. Dit is nodig om te anticiperen met beleid of regelgeving, zodat er geprofiteerd kan worden van de kansen die voortkomen uit de opkomst van nieuwe spelers.

Onze eigen rol in het geheel

Naast de uitdagingen op het gebied van technologische ontwikkelingen en mogelijke wereldproblemen speelt nog een andere uitdaging een grote rol in de energietransitie, namelijk ons gedrag. Onder sociale wetenschappers vindt veel onderzoek plaats naar hoe de mens het best aan te zetten is tot duurzaam gedrag [Rli, 2014; WRR, 2014; Stanford University, 2011]. Als individu kunnen wij bijdragen aan het behalen van de doelstellingen door duurzame energie te gebruiken. Om dit te bereiken moeten we bewuster omgaan met energie, en er daarnaast voor kiezen om te investeren in duurzame toepassingen.

Bewustwording en gedrag worden vaak in één zin genoemd als het gaat om verandering in de manier hoe we omgaan met energie. Volgens het rapport *Groen denken, groen doen en het 'groene gat'* [WRR, 2015] zijn deze begrippen

WAT ALS WE GEEN NIEUWE BENZINE/DIESEL-AUTO'S MEER MOGEN KOPEN?
GAAT DE OVERGANG NAAR ELEKTRISCH OF WATERSTOF DAN SNELLER OF...

helemaal niet zo sterk met elkaar verbonden als wij denken. Neem een zakenman die wel heel bewust is van klimaatverandering en de gevolgen hiervan, maar vervolgens toch maandelijks vliegreizen maakt waarbij hij een enorme bijdrage levert aan de uitstoot van broeikasgassen. Daarentegen kan een oudere dame die geen idee heeft van klimaatverandering, maar geen auto heeft en nooit op vakantie gaat, een heel duurzaam levenspatroon hebben. Bewustwording en gedrag zijn dus niet 1-op-1 aan elkaar gerelateerd. Dit betekent dat werken aan publieke bewustwording niet automatisch zorgt voor gedragsverandering. Alleen bewustwording voegt dus niet genoeg toe.

Voor de toekomst is het de vraag of er niet ook een andere kant zit aan dit gedrag. Neem het voorbeeld van de zakenman die zich wel bewust is van klimaatverandering, deze staat waarschijnlijk wel open voor maatregelen zoals het energieneutraal maken van zijn woning. Door dat hij beter ziet aankomen dat er steeds strengere eisen aan woningen zullen komen, hoeft hij op dit gebied niet gestimuleerd te worden zijn gedrag aan te passen. Bevolkingsgroepen die een probleem niet zien aankomen, kunnen zich niet aanpassen, daar zit dus wel degelijk een belangrijke bewustwordingsopdracht. De vraag blijft hoe we gedrag het meest optimaal kunnen beïnvloeden, want het liefst zouden we willen dat de zakenman – in dit voorbeeld – niet alleen zijn huis energieneutraal maakt, maar dat hij ook zijn gedrag aanpast naar een meer duurzame stijl.

Investeren in energie

Steeds meer bedrijven en consumenten nemen de stap om te investeren in duurzame energie. Doordat de prijs van duurzame energie steeds verder zakt, wordt de terugverdientijd steeds korter en wordt er sneller geld verdiend aan de investering. Ondanks de financiële voordelen is het voor veel mensen nog een grote stap om te investeren. Reden hiervoor is dat de investeringskosten toch relatief hoog zijn, en een ander obstakel is gemak. Want ook zonder investeringen hebben inwoners van Nederland een goed functionerende energievoorziening. Energie, en zeker elektriciteit, is tenslotte voor iedereen beschikbaar. En of de energie afkomstig is van fossiele brandstoffen of van een duurzame bron maakt voor het gebruik niet uit. Je zou zelfs kunnen zeggen dat duurzame energie op korte termijn zelfs vooral ongemak met zich meebrengt. Het is niet alleen een financiële investering, er gaat ook tijd en aandacht in zitten. Zonnepanelen moeten aangeschaft worden, er moet een installateur komen, er moeten subsidies aangevraagd worden, en er moet ook nog eens nagedacht worden over opslagmogelijkheden om het verschil in energievraag en -aanbod tussen dag en nacht op te vangen.

WAT ALS HUIZEN NIET MEER VERKOCHT KUNNEN WORDEN OMDAT ZE NIET AAN EISEN VOLDOEN?
KRIJGEN WE DAN LEEGSTAND OF...

Holo-halo's

Terugblik op de energietransitie

De ergste perikelen liggen gelukkig achter ons, maar het heeft veel gekost. Ook veel geld, maar vooral tijd, inspanning – spanning ook! De G7 waren nog wel op één lijn te krijgen – ja, er was een grote *sense of urgency*. Maar zeven is weinig ten opzichte van de 195 landen die er op de wereld zijn. En alle landen hebben hun eigen belangen en beperkingen. Maar goed, een enorme klus is geklaard en de gevolgen zijn indrukwekkend. De voedselvoorziening is nadat enorme droogte in Amerika en overstromingen in Europa deze zo ernstig bedreigden weer zeker gesteld. En dan te bedenken dat het een app was die geholpen heeft om een heuse ecologische hype te starten, waardoor mensen eindelijk hun verantwoordelijkheden zijn gaan nemen op dit gebied.

Een paar tech-entrepreneurs en Hollywoodsterren gebruikten de EcoApp om met hun volgers te delen hoe duurzaam ze bezig zijn, en nu doet iedereen er aan mee. Zeker sinds de opkomst van de holo-halo, een bril¹ die het mogelijk maakt om via *augmented reality*²

ieders eco-footprint te volgen. Het is dan ook wel behoorlijk confronterend als je met je holo-halo je *footprint* ziet oplopen bij het eten van een biefstukje. En motiverend als je deze gestaag ziet dalen wanneer je aan het sporten bent. Maar de onderlinge competitie is misschien nog wel de beste drijfveer.

Er is ondertussen een flinke ruilhandel ontstaan. Fanatieke sporters ruilen hun energie-sportopbrengst³ in voor arbeidstijdverkorting. Anderen werken juist langer zodat ze zonder puntaftrek even tv kunnen kijken. Want dat is een luxe vandaag de dag, verbruik van nutteloze energie. En het is allemaal te zien op je holo-halo, je footprint, ecolikes en *free-energy*-bonus.

Sommige mensen weten hun ecoprestaties zodanig vorm te geven in augmented reality dat ze veel ecolikes kunnen scoren, en dit is dan weer een manier om aan extra energie te komen zonder dat dit je footprint beïnvloedt. Want ja, hoewel iedereen enorm bewust bezig is met zijn score, wil je af en toe toch wat minder bewust omgaan met je energieverbruik. Door het ruilhandelsysteem hoef je niet perse roomser dan de paus meer te zijn. Toen dat systeem er eenmaal kwam begon die footprint toch wat minder zwaarwichtig te voelen. Want met die holo-halo valt er niets meer te verbergen.....

1 *Wearables* zijn items die je kan dragen waarin ICT-toepassingen verwerkt zijn. Nu al hebben steeds meer mensen een *smart watch*, een horloge dat je stappen telt, slaapritme bijhoudt en dit inzichtelijk maakt. In de toekomst kunnen dit ook brillen of zelfs lenzen worden die ons toegang geven tot informatie.

2 *Augmented reality* (of in het Nederlands toegevoegde realiteit) is een technologie waarbij door een computer elementen worden toegevoegd aan de werkelijkheid.

3 De hometrainer en de loopband op de sportschool kunnen menselijke bewegingsenergie omzetten in elektriciteit. In de toekomst kunnen sportscholen deze stroom misschien gebruiken.

Er zijn verschillende beleidsmaatregelen die een brede implementatie van duurzame technologieën zouden kunnen versnellen. Momenteel wordt er al gebruik gemaakt van subsidies op woningisolatie, installatie van zonnepanelen en andere duurzame oplossingen. Een andere maatregel zou kunnen zijn om in de toekomst belasting op het gebruik van fossiele energie te heffen. Soortgelijke maatregelen (zoals ETS) kunnen ook in andere sectoren gebruikt worden om de invoer van duurzame apparaten (bijvoorbeeld elektrische auto's) te versnellen of om elektrificatie van de industrie aan te moedigen.

Ook stimulerende activiteiten door de markt, zoals het ontzorgen van consumenten, kunnen zorgen voor een snellere implementatie van duurzame energie. Als energieleveranciers bijvoorbeeld daken zouden leasen van particulieren om te gebruiken voor zonne-energie. Als ze huiseigenaren hiervoor een korting op de energierekening gaven, zouden die eigenaren niet zelf alles hoeven uit te zoeken en regelen.

Bovenstaande voorbeelden gaan er vanuit dat mensen geprikkeld moeten worden tot investering in duurzame energie. Het is echter ook mogelijk dat door de snel zakende prijs van duurzame energie en de toenemende zichtbaarheid van steeds meer initiatieven mensen over het ongemak heenstappen en uit zichzelf in actie komen.

Eind 2015 had 6% van alle huishoudens (400.000 huizen) zonnepanelen, dat is al vier keer zoveel als in 2010 [Milieu Centraal, 2016].

Omgang met technologie

Ons gedrag als consument speelt een grote rol in het behalen van de doelstellingen voor 2050, met name het efficiënter omgaan met energie. Om deze efficiëntie te bereiken is weliswaar de eerste stap om technologieën of toepassingen te ontwikkelen die hetzelfde doen met minder energie, maar om de voordelen uit deze technologieën te bereiken is het nodig gedrag aan te passen. Wat nu bijvoorbeeld veel gebeurt in woningen met mechanische ventilatie is dat bewoners de wens blijven houden om 'frisse' lucht in huis te halen. Ze zetten daarom geregeld de ramen of roosters open, terwijl de ventilatie dit overbodig maakt. Door dit gedrag wordt een groot gedeelte van de te behalen energiebesparing tenietgedaan.

Gewoontes en gedragingen waarvan we ons niet bewust zijn en die een inefficiënte reactie zijn op een efficiënte verbetering worden het reboundeffect genoemd [Verbeek, 2006]. Dit is bijvoorbeeld te zien bij de opkomst van ledlampen, deze zijn veel efficiënter dan gloeilampen. Alleen zijn we steeds meer gaan verlichten in huis en hangen we met kerst, omdat ze toch maar zo weinig gebruiken, onze huizen vol met sfeerverlichting. Hiermee wordt een besparing tenietgedaan.

Zo zijn er meer voorbeelden van ongewenste effecten van energiebesparingen. Zoals wanneer geld dat bespaard wordt met woningisolatie wordt gebruikt om extra op vakantie te gaan. Dit heeft dan uiteindelijk een negatief effect op hoeveel energie we verbruiken. Zoals beschreven in de kadertekst op pagina 82 passen we ons gedrag – ook als we ons bewust zijn van de gevolgen – vaak niet aan.

“Mensen zouden zich wel meer conform hun eigen milieu- en duurzaamheidsvriendelijke houdingen en intenties willen gedragen, zeker als dat in hun omgeving de sociale norm is, maar wat ze weerhoudt, is de onzekerheid of anderen met diezelfde houding dat dan ook doen.” – Groen denken, groen doen en het ‘groene gat’ [WRR, 2015]

Technologie als hulpmiddel

Ons gedrag aanpassen blijkt lastig, in de toekomst kan technologie daarbij wellicht helpen. Zo kunnen systemen die data verzamelen inzicht geven in onze gebruikspatronen – zoals slimme meters dat doen – en dienen als prikkel voor ander gedrag. De slimme meters kunnen de effecten van onze handelingen uitdrukken in getallen. Als systemen ons erop wijzen hoe een openstaand raam het effect van isolatie tenietdoet, dan kan dit verandering van ons gedrag stimuleren. Nog effectiever zou het zijn als Kunstmatige Intelligentie actief ingezet wordt voor bijvoorbeeld het uitdoen van lichten en verwarming in ruimtes waar we niet aanwezig zijn. Hierbij verandert de technologie weliswaar niet ons gedrag, maar neemt de technologie de acties over die nodig zijn voor het te behalen effect.

Ook andere sectoren, zoals de medische wetenschappen, doen onderzoek naar technologieën die gebruikt kunnen worden om gedrag aan te passen. De hersenwerking is heel ingewikkeld en er wordt veel onderzoek naar gedaan. Daarnaast wordt gekeken naar medische toepassingen om de hersenen te stimuleren en implantaten te plaatsen [STT, 2016], bijvoorbeeld om depressies te kunnen behandelen. Ook zijn er al commerciële toepassingen die onze gemoedstoestand kunnen veranderen zodat we zo effectief mogelijk ons werk kunnen doen en thuis snel weer tot rust kunnen komen [New Scientist, 2016]. Deze toepassing zou wellicht nog veel breder ingezet kunnen worden, bijvoorbeeld om de mens te programmeren tot duurzaam gedrag. De vraag is of we deze technologieën in de toekomst *willen* inzetten om onszelf te programmeren, maar het lijkt erop dat dit wel mogelijk gaat worden.

Signals of Change

In voorgaand hoofdstuk kwamen de grote 'werelduitdagingen' (*Grand Challenges*, [STT, 2014]) aan de orde. In diezelfde publicatie werden zogenaamde *Signals of Change* benoemd. Een groot aantal van deze signalen hebben gevolgen voor het toekomstige energiesysteem. De directe gevolgen zijn terug te vinden in alle vier de scenario's (zie hoofdstuk 2: Scenario's – oorzaak en gevolg). Een aantal van de indirecte signalen zijn hieronder toegelicht:

- **Veranderende solidariteitsgedachte:** Mensen wisselen hierdoor makkelijker van bijvoorbeeld energieleverancier. Door de opkomst van kleine duurzame coöperaties is er minder afhankelijkheid van grote maatschappijen en stappen we makkelijker over naar kleine leveranciers of zelfvoorzienendheid.
- **Opkomst van digitalisering:** Er is steeds meer aandacht voor privacy. In 2018 wordt een nieuwe Europese wet (GDPR – General Data Protection Regulation [EUGDR, n.d.]) van kracht waarin is opgenomen dat de consument eigenaar wordt van de eigen data. Voor energie heeft dit consequenties voor het gebruik van slimme meters. Van wie is deze data en mogen meters in de toekomst 'bepalen' wanneer en hoe energie gebruikt wordt om de balans opwekking/gebruik/opslag te optimaliseren.
- **Extreme zelforganisatie en zelfredzaamheid:** Dit leidt enerzijds tot veel zelfvoorzienende gebouwen, maar heeft ook negatieve bijwerkingen voor de samenleving. Niet iedereen is in staat tot zelfredzaamheid. Leidt dit straks tot een extreem individualistisch 'eigen-energie-eerst'-gevoel?
- **Smelten van de Noord- en Zuidpool:** Dit heeft een extreme stijging van de zeespiegel als gevolg. Hierdoor kunnen rampen en grote onzekerheid de garantie van een goed draaiend energiesysteem behoorlijk in gevaar brengen.
- **Toenemend risico van cyberterrorisme:** Dit bedreigt de stabiliteit van het energiesysteem. Door verdere automatisering van het systeem en de opkomst van smart grids wordt het systeem kwetsbaarder. Wat gebeurt er als we gedurende langere tijd geen energie meer hebben?
- **Grotere verschillen tussen arm en rijk:** Draagt deze toenemende ongelijkheid bij aan de prijs van energie en blijft energie voor iedereen beschikbaar?
- **Bereiken van de grens van onze economische groei:** Een vraag is wat de relatie is tussen energie en economie. Als de economische groei stagneert betekent dit dan dat we minder energie gaan gebruiken en hoe zit het met de investeringen in duurzame energie?
- **Veranderende economie:** Wat betekent de mogelijke opkomst van ruilhandel voor energie. Want wat is de waarde van energie en wie is de eigenaar van energie? Wat zou dit betekenen voor het onderhoud van transportsystemen?
- **Verlies van vertrouwen in de nationale politiek:** Voor energie lijkt de stap van centraal naar decentraal erg voor de hand liggend, maar als ons politieke systeem veranderd is het de vraag wie de probleemhouder wordt van grote vraagstukken zoals klimaatverandering.

Interview: Jules Holdbar – jongeren bij de stembus

15 maart 2021

Jules Holdbar is de hoofdpersoon in het openingsverhaal *En toen ging het licht aan...* op pagina 10

Q: Jules, jij ben net 18 geworden, je mag dit jaar voor het eerst stemmen. Heb je al een idee wie het gaat worden?

A: Nou, eigenlijk niet. In ieder geval vind ik het milieu belangrijk, ik wil over twintig jaar nog wel kunnen fietsen zonder dat ik m'n longen om zeep help. Bovendien is het milieu belangrijk voor ons klimaat, en als ik later een eigen huis heb, wil ik niet bij ieder buitje onder water lopen. Maar ik wil me wel nog graag een beetje makkelijk kunnen verplaatsen en kunnen reizen, als we doorgaan zoals nu, dan moeten de auto's zeker elektrisch worden en ik denk dat er wel meer moet gebeuren om in 2050 nog te mogen vliegen...

Q: Denk je dat er veel gaat veranderen op het gebied van energie?

A: Ja, neem de auto, de gewone auto's zijn over tien jaar wel van de weg. Er is misschien geen tekort aan fossiele brandstoffen, maar ze zijn erg milieuvervuilend. Qua energie-opwekking... Zonnepanelen, windmolens en warmte uit de woestijnen enzo... dat zal wel in orde komen. Hoewel, ik hoop dat er niet te veel windmolens komen. Ik vind zo'n windmolenpark oerlelijk! Maar de zonnepanelen

worden steeds beter en goedkoper, ik denk niet dat er nog eens een energiecrisis komt...

Q: Wat zijn voor jou nog meer belangrijke onderwerpen voor het stemmen?

A: Het milieu is voor iedereen belangrijk, dus dat maakt voor het stemmen wel wat uit, maar niet zo heel veel. Verder is de studiebeurs natuurlijk belangrijk, maar ook uitkeringen enzo. Wie zegt of ik straks wel gelijk een baan krijg? En nu ik 18 ben, moet ik mezelf verzekeren, dus zo'n eigen bijdrage of hoeveel vrijheid die verzekeraars krijgen, dat doet er nogal toe.

...en dan dat Europa-gedoe. Als we gebruik willen kunnen maken van al die zonne-energie uit warmere landen, moeten we natuurlijk geen oorlog krijgen. En dan is het toch wel belangrijk dat we als Europa een beetje samenwerken. En trouwens, ook een voordeel van samenwerking in Europa: uit andere landen komen nog veel vaklui hiernaartoe. Die hebben we zelf niet meer zoveel. Wie wil er nu nog stratenmaker worden? Ja, Europa is best wel belangrijk.

(advertentie)

De draadloze droom

Heeft u het nog niet in huis? Dan wordt het tijd om over te stappen! Draadloze energie, de nieuwste tech-hype!

Stelt u zich eens voor dat er in uw huis of op kantoor geen stopcontacten meer zijn. Geen kluwens lelijke snoeren meer, en nog beter: nooit meer struikelen daarover. Denkt u eens in wat een enorm gemak dit zal opleveren! Nooit meer twijfelen of uw telefoon of holopad wel is opgeladen, energie is overal. Als u een echt flexibele werkplek wilt of gewoon zin heeft bij een feestje de koelkast middenin de woonkamer te zetten, dan kan dat want een snoer zit er niet meer aan.

We verbruiken wel wat meer energie dan voorheen, maar dat is geen probleem¹: alle oppervlaktes buitenshuis wekken stroom op. En ons hypergeavanceerde smart-system ontzorgt u volledig als er even wat minder stroom beschikbaar is. Alle draadloze apparaten worden geleverd met moderne accu's die een paar uur zonder stroom overbruggen. De slimme meter communiceert met ons hightech AI-systeem dat monitort hoeveel energie u opwekt en opgeslagen heeft en geeft een gedetailleerd inzicht in uw energieverbruikspatroon.² Het regelt de prioriteiten van de apparaten en zorgt zo dat er altijd genoeg energie is waar het op dat moment nodig is.

Energie is vandaag de dag een noodzakelijke levensbehoefte, en als u ons uw systeem laat upgraden hoeft u er nooit meer over na te denken! Wij hebben nu dé aanbieding voor u, vanaf 3000 bitcoins leggen wij bij u thuis een volledig slim en draadloos energienetwerk aan.

**Neem contact met ons op voor een vrijblijvende offerte via
de VR-lijn³ @VR_WireFree of mail naar info@wirefree.int**

1 Door ontwikkelingen op het gebied van nanotechnologie is het nu al mogelijk om hele dunne folies en (doorzichtige-)sprays te ontwikkelen die zonlicht omzetten in stroom.

2 Kunstmatige Intelligentie kan in de toekomst een grote rol spelen in veel facetten van ons leven. Zo ook bij de manier waarop we omgaan met energie. Meer over de ontwikkelingen van AI-systemen is te vinden in de STT-publicatie *Data is macht* [STT 2016].

3 VR staat voor Virtual Reality. Deze technologie zal het in de toekomst mogelijk maken om een bijna real-live-gesprek te hebben met iemand die zich op een andere locatie bevindt, of iets mee te beleven zonder er fysiek bij aanwezig te zijn.



HOOFDSTUK 4

AANBEVELINGEN VOOR NEDERLAND NU

In het eerste hoofdstuk van deze publicatie hebben we gekeken naar de technologische mogelijkheden voor het energiesysteem van 2050. Daarna zijn we verder ingegaan op mogelijke verschillende energiesystemen (pagina 58) en hoe deze tot stand zijn gekomen (pagina 65). Tot slot zijn een aantal uitdagingen zoals schaarste en ons gedrag aan bod gekomen. Maar wat betekent dit nu concreet voor de toekomst van energie en het behalen van de klimaatdoelstellingen in 2050?

Het ligt vast dat de toekomst zichzelf zal aanbieden als we niets doen. Als we niet willen dat er in 2050 onomkeerbare gevolgen van klimaatverandering zijn door toedoen van de mens. Omdat de oplossingen die nodig zijn voor een nieuw energiesysteem veranderingen zullen brengen die voelbaar zijn op persoonlijk vlak, in het bedrijfsleven, bij gemeentes, provincies, bij de landelijke overheid, met onze buurlanden, de wereld en misschien zelfs daarbuiten, is er nú actie nodig in alle lagen van de samenleving.

*“Een meer leidende rol van de overheid is noodzakelijk” –
Oppakken en doorpakken [AWTI, 2016]*

Om keuzes te maken die de toekomst beïnvloeden, is het belangrijk voldoende informatie te hebben om die keuzes op te baseren. Deze publicatie over de toekomst van energie wil behalve informeren over technologieën ook het belang doen inzien van het maken van de juiste keuzes op het juiste tijdstip. En om de toekomst van energie te onderzoeken kun je niet blind zijn voor andere vraagstukken die in onze samenleving van belang zijn.

In dit hoofdstuk staan de aanbevelingen die uit de studie zijn gekomen. De aanbevelingen zijn voornamelijk gericht op de overheid, het bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties. Individuele burgers zijn echter net zo belangrijk in het gehele energiesysteem en om hen bij deze verkenning te betrekken zijn ze door middel van een enquête ondervraagd over de toekomst van energie en de invloed van dit onderwerp op ons stemgedrag.

WAT ALS WEGEN ZONNE-ENERGIE OPLEVEREN?
GAAN WE DAN ALLE ENERGIE INTEGREREN IN DE OMGEVING OF...

Aanzetten tot beweging

De overheid, markt en de maatschappij zijn de drie groepen in de samenleving die elk hun eigen bijdrage moeten leveren aan het toekomstige energiesysteem. Al deze partijen hebben hun eigen ideeën en belangen bij deze toekomst. Om alle neuzen dezelfde kant op te krijgen is het zaak dat er een duidelijke en langetermijnvisie komt over het gewenste energiesysteem in 2050.

Momenteel worden subsidies gebruikt om woningeigenaren te motiveren om te investeren in duurzame oplossingen, zo komen er steeds meer nul-op-de-meter woningen. De roep vanuit de samenleving om het sluiten van grote kolencentrales neemt toe en er worden grote windmolenparken op zee gebouwd. Ondertussen hebben netwerkbeheerders nog steeds de verantwoordelijkheid om te zorgen dat iedereen in Nederland is aangesloten op het elektriciteitsnet en het gasnet. Het energiesysteem staat niet stil en ontwikkelt zich ondertussen steeds verder.

Een nul-op-de-meter-woning produceert net zoveel energie als er nodig is voor het huis en het huishouden. Er zijn nog andere termen die in de context van de gebouwde omgeving gebruikt worden. Zo is er de EPC (energieprestatiecoëfficiënt) die aangeeft in hoeverre het huis kan voorzien in woninggebonden energiegebruik (verwarming/koeling/ventilatie). De EPC-norm is een verplichte norm voor nieuwbouwhuizen en wordt in 2020 vervangen voor de strengere BENG-norm (bijna energieneutraal gebouw). Dan zijn er nog twee termen die wellicht voor zichzelf spreken, namelijk energieleverende woningen, woningen die meer energie produceren dan dat ze op jaarbasis gebruiken maar die nog wel aangesloten zijn op het net. En zelfvoorzienende woningen die ook niet meer aangesloten zijn op het energienet [Bewust nieuwbouw, n.d.]

De vraag die gesteld moet worden is welke richting al deze ontwikkelingen opgaan. Want om iedereen mee te krijgen om een emissievrij energiesysteem in 2050 te behalen, moet het toekomstige energiesysteem aan meer eisen voldoen dan een klimaatneutraal 2050. Denk hierbij aan betaalbare energie voor iedereen in Nederland en continuïteit van energielevering. Deze factoren moeten ook onderdeel zijn van het toekomstige energiesysteem.

Aanbevelingen voor de overheid

Als we kijken naar de verschillende transitiepaden die zijn uitgewerkt in deze publicatie, dan speelt ongeacht het gekozen scenario de overheid een belangrijke rol bij het overgaan naar een emissievrij energiesysteem. Dit komt voort uit de vele veranderingen die nodig zijn om de klimaatdoelstellingen in 2050 te halen. Zonder

WAT ALS GEVOLGEN VAN KLIMAATVERANDERING ZICHTBAAR WORDEN IN NEDERLAND?
KRIJGEN DE PROBLEMEN DAN MEER AANDACHT DAN DE OORZAAK OF...

een vooruitstrevend en consequent energiebeleid van de overheid gaat het heel erg lastig worden om de doelstellingen te behalen, met alleen marktwerking redden we het niet.

INNOVATIES ZIJN NODIG

In de scenario's is te zien dat de overheid op twee manieren kan inzetten op het halen van de doelstellingen. 1) Zorgen voor beleid en regelgeving over de toegestane uitstoot, of 2) vorm geven aan het energiesysteem door te investeren in bepaalde technologieën. In de scenario's is te zien dat als de overheid te sterk de inrichting van het energiesysteem bepaalt, dat innovatie daardoor geremd wordt. Een toekomst waarbij er mogelijkheden zijn voor de markt en consument om eigen keuzes te maken heeft dus een overheid nodig die een vooruitstrevend beleid voert, gericht op het behalen van de doelstellingen, maar ruimte overlatend voor innovatie.

Bij een systeem waar ruimte is voor innovatie is het vervolgens van belang dat die door de overheid gestimuleerd worden. Er is geld nodig voor onderzoek om nieuwe technologieën te ontwikkelen en naar de markt te brengen.

BELEID NALEVEN

Bij het op te stellen beleid zijn er twee vragen die steeds opnieuw gesteld moeten worden. Op macroniveau moet steeds gekeken worden of het hele pakket aan maatregelen voldoende is om de doelstellingen te behalen. Daarnaast moet per beleidsmaatregel gekeken worden op welke wijze dit beleid bijdraagt aan het behalen van de klimaatdoelstellingen. Naast deze onderzoekende taak moet de overheid ook een controlerende taak hebben. Om de doelstellingen te behalen is het belangrijk dat het gevoerde beleid niet vrijblijvend is, gestelde doelen en eisen moeten nageleefd worden.

Naast dat de overheid nú moet zorgen voor een sterk beleid om de klimaatdoelstellingen te halen, ligt ook bij hun de taak om te onderzoeken wat de langetermijngevolgen zijn van dit beleid. Wat zijn voor de samenleving de gevolgen van verandering in de gebouwde omgeving, het transportsysteem en de industrie.

Neem de opkomst van decentrale toepassingen in de gebouwde omgeving. Deze wordt gestimuleerd door subsidies en de snelle daling in prijs van duurzame toepassingen. In de scenario's is te zien dat bij verregaande decentralisatie het risico ontstaat dat niet iedereen in de samenleving aansluiting vindt en er daardoor grote ongelijkheid ontstaat. Hierop moet de overheid anticiperen. In dit voorbeeld moet er dus nagedacht worden over een eventueel sociaal vangnet, zoals een energietoeslag. Waarbij mensen met lagere inkomens financieel geholpen worden om de transitie te maken naar eigen opwekking.

Onzichtbare regels

Opa Jan is enthousiast over hoe wet en regelgeving is veranderd

Naar een idee van Theo Bosma (DNV GL)

Opa Jan strijkt eens over zijn kale bol. Dat doet hij altijd als iemand hem een vraag stelt. Het geeft hem tijd om even na te denken voordat hij antwoordt. Zijn kleinzoon Lois van 16 zit tegenover hem. Het is een slimme kerel, twee WAVO¹ alweer. Voor een werkstuk over de geschiedenis van energie moesten ze iemand interviewen over de veranderingen in het energiesysteem. “Wat is er nu echt veranderd? Het is vooral het onzichtbare, de dingen die je niet direct ziet”, zegt Opa Jan. “Wat je ziet zijn de gevolgen, niet de verandering zelf”.

Hij begint te vertellen over waarom zijn woning in plaats van een kostenpost te zijn, nu geld oplevert. En hoe gelukkig hij is dat hij kan bijdragen aan de energievoorziening van zijn vriend in Breda, medemensen in Nederland en daar ook voor betaald krijgt. “De regels zijn nu zodanig dat het loont om verder te kijken dan mijn eigen gezin. Waar vroeger ‘nul op de meter’-woningen als goed gezien werden, is nu de ‘contributiewoning’

het hoogste doel. Nul op de meter was een kader gericht op beperking, gericht op het eigen gebruik. Hele mooie stukken dak werden niet gebruikt, omdat de regels zo waren dat bijdragen niet loonde. Nu wel. Ik produceer meer dan mijn eigen gebruik en kan het overschot verkopen aan bedrijven of personen die energie tekortkomen. Want niet iedereen heeft een goed dak voor zonnepanelen of een eigen tuin voor warmteonttrekking en -opslag. En door te delen wordt het energiesysteem eerlijker.”

Opa Jan zit op zijn praatstoel en raast door. “Iedereen benut nu de volle potentie, particulieren, boeren, maar ook de overheid. Kijk eens om je heen. Openbare parkeerplaatsen, groenstroken, trottoirs en berm, allemaal bezit van de overheid, mogen gebruikt worden om warmte te winnen of zonnepanelen te plaatsen. Wie had dat kunnen denken, privé-grondboring in het openbare trottoir, warmtepanelen als afrastering van een stukje openbaar groen, een warmteleiding onder de weg door naar het bejaardenhuis, een collectief van zonnepanelen op een openbare school. Wat een omslag. Een van de eerste zaken die

¹ Zoals de toekomst van het energiesysteem verandert, zal misschien ook wel de toekomst van het onderwijssysteem veranderen en hebben we in 2050 misschien wel Wetenschappelijk Anticiperend Voorbereidend Onderwijs [STT, 2018].

er echt toe deden is dat de energiebelasting voor gas en elektriciteit gelijk zijn getrokken. Tot 2017 was de belasting op gas zo'n vier maal lager dan op elektriciteit. De aardbevingschade in Groningen werd in 2020 het kantelpunt, het roer moest om. Toen de energiebelastingen gelijk werden getrokken werd duidelijk dat de warmtevraag goedkoper ingevuld kon worden door elektriciteit en warmtepompen. En de warmte die ik teveel heb", zeg Opa Jan, "kan ik via ons lokale netwerkje doorverkopen aan mijn burens".

"Door schaalgrootte werd hernieuwbare energie goedkoper dan fossiele brandstof. Omdat wind- en zonne-energie variabele bronnen zijn, werd flexibiliteit belangrijker." Opa Jan strijkt nog maar eens over zijn kale hoofd. "Dat is een zichtbare verandering, meer zonnepanelen en windturbines. Maar wat je niet ziet doet er vaak nog meer toe. De tweede onzichtbare verandering die ertoe deed", zegt Opa Jan, "was dat systeembijdragen gewaardeerd worden. Mijn bezit kan bijdragen aan energieflexibiliteit, en levert nu geld op. De batterijen in mijn auto, de warmwatervoorraad in de kelder, de siertuin vlak

naast de woonwijk waar een WKO is geboord, het waren voorheen kostenposten, nu zijn het *assets*. Door de nieuwe regels kunnen die bijdragen aan het energiesysteem en is er een nieuw evenwicht ontstaan tussen centraal en decentraal. Geen autarkie, maar juist netwerken. Het voelt echt goed, bijdragen. En dat door een paar simpele regels, die je niet ziet." Lois grijpt in... "Okay Opa, ik denk dat dit wel genoeg is. Super bedankt!"

**SMART
HOME**

IMPACT OP DE SAMENLEVING

Het behalen van de klimaatdoelstellingen zal niet makkelijk worden en het zal ook betekenen dat er in de toekomst keuzes gemaakt moeten worden die lastig zijn. Om hierop te anticiperen zijn niet alleen de gevolgen voor klimaat van belang, ook de impact voor de samenleving moet overwogen worden. Want wie zijn er bijvoorbeeld verantwoordelijk voor energielevering in een gedecentraliseerd systeem. En zorgen bepaalde beleidsmaatregelen niet voor uitsluiting van bepaalde partijen.

Om sterk beleid te maken hoeven niet alle antwoorden op deze vragen er al te zijn (er zullen ook geen pasklare antwoorden of oplossingen zijn). Maar helemaal niet nadenken over de langetermijneffecten van deze maatregelen heeft als groot risico dat er in de toekomst veel tijd en geld gestoken moet worden in maatregelen om ongewenste effecten bij te sturen.

Aanbevelingen voor de markt

Uit de scenario's blijkt dat de eerste stap voor verandering ligt bij de overheid. De versnelling moet echter uit de markt komen, die doortastend en effectief moet omgaan met het gemaakte beleid. Want als er door de overheid gekozen wordt voor een sterk beleid waar veel ruimte is voor innovatie dan moet de markt hier gebruik van maken. Dit betekent dat de markt verantwoordelijkheid neemt om een sterk innovatiebeleid te gaan voeren. Bedrijfsvoering en processen zullen moeten veranderen om bestaande sectoren te verduurzamen. Implementatie van vernieuwende technologieën en de opkomst van nieuwe markten brengen ook kansen met zich mee. Om als Nederlandse markt het voortouw te nemen zijn (gecalculeerde) risico's nodig. Om in 2050 een succesvolle energietransitie achter de rug te hebben is nog veel innovatie nodig en de markt moet verantwoordelijkheid nemen om vol in te zetten op onderzoek en ontwikkeling.

Terugkomend op het overheidsbeleid: Om een goed speelveld te creëren voor innovatie moet de markt meer samenwerken met de overheid. Bedrijven moeten de overheid inzicht geven in ontwikkelingen, innovaties en opkomende markten. Daarnaast is het van belang dat de markt meedenkt over de langetermijneffecten van energiebeleid.

WAT ALS BIJ NIEUWBOUW EN RENOVATIE HET VERPLICHT IS
OM EEN ZELFVOORZIENEND HUIS OP TE LEVEREN?
WORDEN DE HUIZEN DAN DUURDER OF...

Energieke ideeën

Als burger kunnen we direct bijdragen aan duurzame beslissingen, maar burgers hebben ook een belangrijke rol in de koers die de overheid inzet. Tijdens verkiezingen kan invloed uitgeoefend worden op welke partijen er aan de macht komen. Dit heeft uiteraard een grote invloed op de te vormen regering en uiteindelijk dus op de route en keuzes die door de overheid gemaakt worden wat betreft energiebeleid.

In een online enquête door STT uitgevoerd in februari van 2017 – vlak voor de Tweede-Kamer-verkiezingen van 2017 – is aan een breed publiek gevraagd om na te denken over de toekomst van energie. Daarnaast zijn de verkiezingen gebruikt om een idee te krijgen van wat men belangrijke onderwerpen vindt voor de overheid en hoe deze ideeën doorwerken in hun politieke voorkeur. In de enquête 'Energie en de verkiezingen' gaven 125 respondenten hun visie. Een overzicht van alle vragen is terug te vinden op www.stt.nl.

Toekomst kiezen

De enquêtedeelnemers is gevraagd naar hun standpunt over de toekomst. In deze publicatie worden aannames gedaan over mogelijke toekomstrichtingen. Daarom zijn er in de enquête een aantal stellingen voorgelegd waarbij over diverse ontwikkelingen op het gebied van energie steeds de vraag werd gesteld: denkt u dat deze ontwikkeling zal plaatsvinden en vindt u het wenselijk dat dit gebeurt? Er is bij het uitwerken van de vragen gekeken naar de achtergrond van de deelnemers op het gebied van energiekennis. Bij antwoorden waar een opvallend verschil was tussen experts en niet-experts is dit aangegeven.

WINDENERGIE

De enquêteresultaten laten zien dat voor het opwekken van energie uit wind 62% van de correspondenten verwacht, en 73% wil dat in 2050 alle gebieden in de Noordzee waar geen vaarroutes zijn voorzien zijn van windmolens.

KERNENERGIE

In de vraag over kernenergie werd verwezen naar thoriumreactoren met een hogere veiligheid en minder afval. Ondanks deze verbeterde condities ziet tweederde van de respondenten deze technologie niet zitten voor de toekomst. Hieruit concluderen we dat het huidige negatieve beeld van kernenergie effect heeft op de toekomst van deze technologie.

WAT ALS ER EEN POLITIEKE PARTIJ IS DIE VINDT DAT ZELFVOORZIENENDE HUIZEN MINDER BELASTING MOETEN BETALEN? ONTSTAAT ER DAN SEGREGATIE IN DE SAMENLEVING EN KRIJGEN BEPAALDE GROEPEN DAN MINDER MOGELIJKHEDEN?

De grote verbindingen

Beschrijving van elektriciteitsnetwerk in aardrijkskundelesboek

In deze paragraaf gaan we in op het elektriciteitsnetwerk. Ons huidige energiesysteem is anders dan in de vorige eeuw. In de jaren veertig van de 21^e eeuw hebben doorbraken in de ontwikkeling van supergeleidende materialen¹ het mogelijk gemaakt om elektriciteit tegen zeer lage kosten en verliezen te transporteren over grote afstanden. Deze ontwikkelingen liggen aan de basis van onze huidige supergeleidende hoogspanningsnet dat de hele wereld verbindt en voorziet van elektriciteit.

Ons huidige elektriciteitsnetwerk maakt gebruik van hernieuwbare bronnen zoals de zon en wind om elektriciteit op te wekken. De opwekkingsinstallaties worden geplaatst in regio's met geschikte geografische eigenschappen, dit wil zeggen plaatsen waar de zon de meeste kracht heeft of waar de windgarantie het hoogst is. Er is hierbij zoveel mogelijk rekening gehouden met de leefomgeving van burgers, zodat die over de gehele wereld zo aantrekkelijke mogelijk blijft en het omgevingslandschap niet ontsierd wordt.

Alle opwek mogelijkheden en transporten spijt, is dat samen niet voldoende om

alle bewoners in wereld te voorzien biele energietoevoer. Momenteel wordt er gewerkt aan een system waarbij regionale vraag- en aanbodprofielen op elkaar afgestemd worden dat er slechts een zo beperkt mogelijke seizoensopslag nodig zal zijn. De relatief kleine schommelingen die er in het mondiale vraag- en aanbodprofiel nog overblijven, worden vervolgens opgevangen met waterkrachtcentrales die beschikking hebben over snel inzetbare stuwmeren.

Vraag – Noem twee elementen die worden meegenomen in de overweging op welke locaties in de wereld energie opgewekt moet worden?

Opdracht – Bedenk twee voor- en nadelen voor de implementatie van een wereldwijd smartsysteem?

¹ Supergeleidende materialen hebben bij transport van elektriciteit veel minder energieverlies dan de huidige kabels, maar dienen wel gekoeld te worden met vloeibare stikstof.



FOSSIELE BRANDSTOFFEN

Voor fossiele brandstoffen verwachten respondenten enerzijds niet dat er een verbod komt op het gebruik (65%), maar ook zeker niet dat het in dezelfde hoeveelheid gebruikt blijft worden als nu (68%). Bij deze laatste vraag is overigens een groot verschil te zien tussen deelnemers die wel en niet professioneel betrokken zijn bij energie. 27% van de professionals verwacht dat er nog steeds veel fossiele brandstoffen gebruikt worden in 2050 tegen bijna de helft (44%) van de deelnemers die niet actief zijn in het energieveld.

OVERIGE VERSCHILLEN TUSSEN RESPONDENTEN

Er zijn nog een paar vragen waarbij de antwoorden sterk uiteenlopen tussen de mensen die wel en niet werken in de energiewereld.

De vraag over inkoop van diensten versus het bezit van goederen leverde een verrassend antwoord op. In deze publicatie wordt meerdere malen gezegd dat een verlaagd energiegebruik behaald kan worden door maatschappelijke veranderingen waarbij het bezit van goederen minder belangrijk wordt. Van de respondenten zonder energieachtergrond verwacht echter 82% van de deelnemers dat dit niet zo is in 2050 en ook gaf 72% aan dit niet wenselijk te vinden. Hiertegenover verwacht 42% van de experts het wel en 51% vindt het wenselijk. Komt dit verschil doordat niet-expert respondenten niet bekend zijn met dit onderwerp, of overschatten experts de rol van de deeleconomie in het toekomstige energiesysteem?

De toekomst die we willen

In de antwoorden is terug te zien dat er van de meeste ontwikkelingen die genoemd zijn, niet wordt verwacht dat ze in 2050 volledig geïmplementeerd zullen zijn. Alleen de verplichte energie-criteria aan woonhuizen en een Noordzee vol windenergie in 2050 zien we echt gebeuren. Daarentegen zijn er wel veel ontwikkelingen die de respondenten graag zouden *willen* zien, zoals de hyperloop voor snel vervoer over lange afstanden; technologie die op een mooie manier geïntegreerd is in de gebouwde omgeving; alle woningen in Nederland nul op de meter; en iedereen in elektrische auto's. Het lijkt er dus op dat de deelnemers wél graag veranderingen zien in de toekomst, maar nog veel beren op de weg zien in de totstandkoming van die veranderingen.

Kijkend naar de onderwerpen die in de enquête aan bod kwamen is het voor een groot aantal van de stellingen zeker mogelijk dat met de juiste focus op innovatie de genoemde technologieën in 2050 geïmplementeerd kunnen zijn. Daarom

WAT ALS FABRIEKEN ZICH KUNNEN AANPASSEN
AAN WISSELENDE CONSUMENTENVRAAG?

is het goed om te zien dat de deelnemers optimistisch zijn over deze toepassingen en het is nu aan de onderzoekswereld, markt en overheid om te zorgen dat de energietransitie ook technologisch mogelijk wordt.

Belang van energie

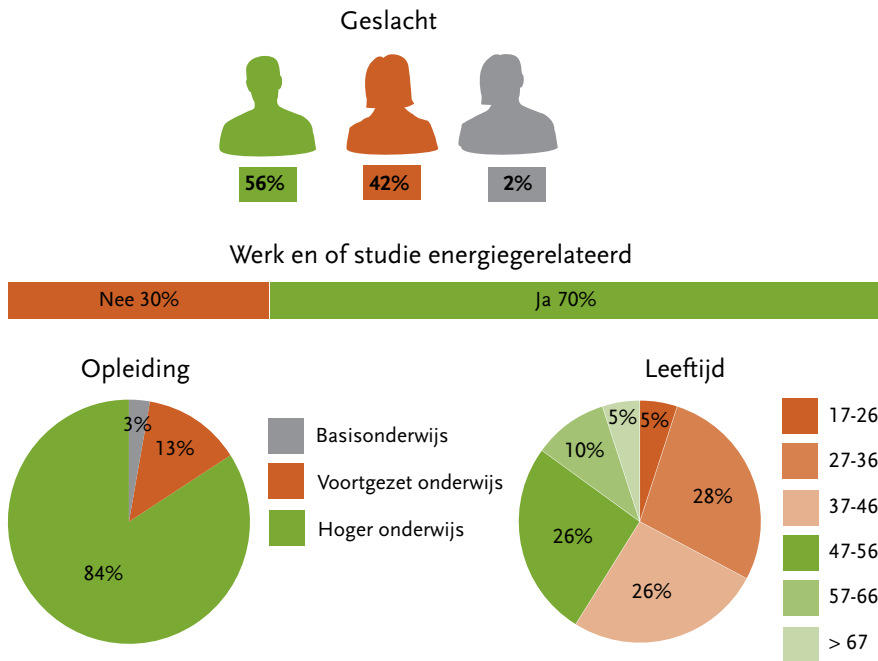
De deelnemers geven in de enquête aan graag veranderingen te zien in de toekomst. Het is interessant om te kijken of deze wens weerspiegeld wordt in de vraag: Wat zijn de belangrijkste onderwerpen waar de Nederlandse overheid zich mee bezig zou moeten houden. Op pagina 95 geeft figuur 20 een *wordcloud* met daarin met daarin de uitkomst volgens de respondenten. Voor de experts is 41% van de antwoorden gerelateerd aan energie of klimaat en voor de andere groep is dit 27%. Andere onderwerpen die er uitspringen als belangrijk zijn: onderwijs, zorg en veiligheid. Waarbij in iets mindere mate immigratie en vergrijzing genoemd worden.

Er is voor gekozen om de vraag naar belangrijke onderwerpen voor de overheid als open vraag te formuleren en als eerste te stellen om zo min mogelijke bias te creëren. In een onderzoek van het [SCP, 2014] bleek dat als men een 16-tal beleidsdoelen indeelt naar belang, men vindt dat er al voldoende aandacht is in het overheidsbeleid voor dit onderwerp. Hieruit werd geconcludeerd dat klimaat belangrijk is, maar wanneer het wordt afgewogen tegenover andere beleidsmaatregelen, deze als belangrijker worden gezien.

Ook is de deelnemers gevraagd waar ze bij het woord energie aan denken. Op pagina 25 is de bijbehorende *wordcloud* te zien. Als alle antwoorden ingedeeld worden in categorieën is er een drietal dat sterk naar voren komt, namelijk het opwekken van energie, manieren waarop energie toegepast kan worden, en klimaat gerelateerde antwoorden. Waarbij opvalt dat de deelnemers met kennis van energie meer divers zijn in hun antwoorden. Dit illustreert misschien wel hoe moeilijk het is voor niet-experts om een idee te hebben over de complexiteit van het energiesysteem.

De deelnemers

Van de deelnemers is een aantal persoonlijke kenmerken in kaart gebracht. In figuur 21 is te zien hoe de verdeling naar geslacht, onderwijsniveau, en leeftijd is. De respondenten waren behalve op hun kennis van energie (70% energieprofessionals), redelijk gelijkmatig verdeeld. Het is mogelijk dat de grote groep mensen met kennis van energie invloed heeft gehad op de antwoorden van een aantal vragen, daarom is ervoor gekozen om de antwoorden uit te splitsen naar afzonderlijke groepen.



Figuur 21 Kenmerken van de deelnemers die hebben deelgenomen aan de enquête 'Energie en de Verkiezingen'.

Onze toekomst

Ondanks dat de weg naar een klimaatneutraal energiesysteem in 2050 nog lang is, is er rede om positief te zijn. Technologisch gezien zijn er veel positieve ontwikkelingen. Het zal niet heel ver in de toekomst liggen dat duurzaam opgewekte energie goedkoper wordt dan de huidige vormen van energieopwekking. Ontwikkelingen in de ICT zullen helpen bij het regelen van een complexer systeem. Burgers – in ieder geval de deelnemers aan onze enquête – staan open voor de mogelijkheden die nieuwe technologieën ons gaan brengen. Er is dus genoeg ruimte voor de overheid, markt en burgers om succesvol een nieuwe weg in te slaan naar een energiesysteem waar technologie, natuur en de mens op elkaar zijn ingespeeld. Maar deze ruimte moet wel gepakt worden! In de paragraaf *Aanzetten tot beweging* (pagina 92) meer over de acties voor de overheid, markt en maatschappelijke organisaties.

Wilt u na het lezen van deze publicatie zelf aan de slag met uw bedrijf, uw gezin of buurt of belanghebbendengroep dan kan dat. In bijlage A vindt u alles wat nodig is om een sessie te houden voor het opstellen van een energiemanifest. Waarin u vastlegt wat uzelf, uw buurt, of uw belangengroep kan doen om een bijdrage te leveren aan het toekomstige energiesysteem.

BIJLAGE A: HANDLEIDING WORKSHOP, OPSTELLEN ENERGIEMANIFEST

Het is tijd voor actie! De klimaatdoelstellingen halen kan alleen als we in 2050 een ander energiesysteem hebben dan nu. De belangrijkste boodschap van deze publicatie is dat er alternatieve toekomsten te bedenken zijn, maar dat we nú een richting moeten kiezen. En al ligt de beslissing uiteindelijk bij de regering, dat betekent niet dat wij niets kunnen doen.

En wie zijn wij dan? Dat is iedereen, de burens in de straat, de wethouders in de gemeente, leerlingen in de klas, deelnemers aan een nieuwe bedrijfsstrategie, ambtenaren bij het ministerie en zo zijn er nog veel meer groepen belanghebbenden die in actie kunnen komen. Onderstaand een handleiding om zelf een workshop op te zetten om te kijken wat uw belanghebbendengroep kan doen om in actie te komen.

Vorbereiding

In groepen verdelen

Het aantal deelnemers aan de workshop maakt niet veel uit, hoewel bij meer dan 25-30 deelnemers de terugkoppeling erg lang duurt. De workshop werkt het best in groepen van 4-6 mensen. In elke groep moet één persoon het naleven van de 'spelregels' bewaken. Dit kan ook een moderator zijn die de workshop begeleidt.

Kiezen van een toekomst

Het idee is dat u een toekomstig energiesysteem neemt waar u graag naartoe zou willen werken en hier een kort verhaal over uitwerkt (½-1 A4-tje). Hiervoor kunt u de scenario's in hoofdstuk 2: *Scenario's – oorzaak en gevolg* of de of de *vergezichten* die verspreid staan door de publicatie gebruiken als inspiratie. Het is belangrijk dat in uw scenario niet alleen het technologisch aspect aan bod komt, maar ook het maatschappelijk aspect. U kunt er ook voor kiezen om meerdere verhalen uit te werken en de workshopdeelnemers laten kiezen welke toekomst ze willen gebruiken.

De spelregels

De workshop bestaat in totaal uit vier onderdelen (of vijf als u de deelnemers zelf een verhaal wil laten kiezen). Het is belangrijk om te zorgen dat alle onderdelen voldoende tijd krijgen om besproken te worden. Hoe groter de groepen zijn, des te meer discussie er is, en hoe meer tijd er nodig is voor de verschillende onderdelen. De geschatte tijden bij de onderdelen zijn gebaseerd op 4-6 personen per groep. Zorg verder voor prints van de verschillende stappen van de workshops – zet die liefst ook in een diaprojectie – en voor voldoende schrijfmateriaal en kopieën van een leeg energiemanifest of voorgetekende flipovers.

De workshop

Als u maar één verhaal heeft dan vervalt het eerste onderdeel, maar zal er waarschijnlijk wat meer tijd nodig zijn voor het bepalen van de kaders.

Kiezen van de toekomst (15-30 min, afhankelijk van aantal mogelijkheden)

De deelnemers krijgen een aantal verhalen van toekomsten waarin het energiesysteem omschreven staat en gaan vervolgens in discussie over de technologische en maatschappelijke aspecten van de verschillende verhalen. Uiteindelijk moet er gekozen worden welk verhaal of combinatie van verhalen de meest gewenste toekomst omschrijven. De moderator of teamverantwoordelijke moet vijf minuten voor de eindtijd van dit onderdeel aangeven dat er een keuze gemaakt moet worden.

Bepalen kaders (30 min)

Het toekomstverhaal is kort en incompleet, er moet in de groep nagedacht worden hoe een aantal aspecten waarschijnlijk geregeld zullen zijn in het energiesysteem van het gekozen verhaal. Het is mogelijk dat de groep in deze fase veranderingen aanbrengt in het toekomstverhaal. Hieronder een aantal punten om de discussie op te starten.

- Is het een (voornamelijk) **centraal** of **decentraal** energiesysteem?
- Produceren we (voornamelijk) **nationaal** energie, of zijn we **internationaal** georiënteerd?
- Hoe is de verdeling tussen **arm** en **rijk**, en welke invloed heeft dit op de energielevering aan deze groepen?
- Welke rol hebben de **burger**, **markt** en **overheid** in dit energiesysteem?
- Zien we vooral **technologische** ontwikkelingen, of is het **gedrag** van mensen ook verandert?

- Denk ook aan andere aspecten zoals de rol van ICT, of de opkomst van nieuwe bedrijfspvormen zoals **coöperaties**, of...

Analyse van huidige ontwikkelingen (30 min)

Het energiesysteem van 2050 is nu in meer detail uitgewerkt. Vervolgens moeten er in dit onderdeel drie vragen beantwoord worden over ontwikkelingen op het gebied van technologie, maatschappij en/of beleid:

1. Welke huidige ontwikkelingen **dragen bij** aan 'jullie' 2050?
2. Welke huidige ontwikkelingen **beperken** 'jullie' 2050?
3. Welke ontwikkelingen zijn er **nodig** voor 'jullie' 2050?

Opstellen energiemanifest (30 min)

Op de volgende pagina staat een leeg energiemanifest (ook te downloaden op de site van STT) waarin de deelnemers kunnen aangeven hoe hun energiesysteem er in 2050 uitziet. Daarnaast geven de deelnemers aan wat zijzelf en hun belanghebbendengroep kunnen bijdragen aan dit energiesysteem.

Terugkoppeling (2-4 min per groep. Veel groepen? Gebruik een timer!)

In deze fase komen alle groepen samen om de energiemanifesten aan elkaar te presenteren. Dit kan het einde van de workshop zijn. Er kan ook gekozen worden om met alle deelnemers te bepalen welke acties het belangrijkste zijn en een daadwerkelijk actieplan opstellen. Is de groep groter dan 12-15 deelnemers dan is het aan te raden om alle acties uit te schrijven op flipovers en iedere deelnemer drie post-its te geven om een stem mee uit te brengen.

Deze workshop is ook gedaan tijdens het eindsymposium, geïnteresseerd naar de uitkomsten?



<https://stt.nl/workshop-energie>
Uw ingevulde manifest ook online?
U kunt het opsturen naar info@stt.nl

Energiemanifest

Wij zouden graag in 2050 een energiesysteem zien dat niet alleen emissievrij is, maar ...

.....
.....

Op onderstaande wijze kan ik bijdrage aan dit energiesysteem:

- 1.
.....
- 2.
.....
- 3.
.....

Op onderstaande wijze kan mijn 'organisatie' bijdrage aan dit energiesysteem:

- 1.
.....
- 2.
.....
- 3.
.....

Datum:

Plaats:

Handtekeningen:



BIJLAGE B: DEELNEMERS

Voor de totstandkoming van deze publicatie zijn er veel mensen die een bijdrage geleverd hebben. Ik wil deze mensen op deze plek bedanken voor alle tijd en moeite die ze in deze toekomstverkenning hebben gestoken. In het bijzonder wil ik de stuurgroep bedanken voor het meedenken, richting bepalen en hun waardevolle feedback gedurende alle stappen in het proces. Ook speciale dank voor de experts, workshopdeelnemers en studenten van de Haagse Hogeschool, jullie zijn een bron van informatie en inspiratie geweest in dit project. Niet iedereen die heeft bijgedragen wordt bij name genoemd, dit dankwoord is echter ook voor jullie!

Leden stuurgroep

Ewald Breunese, Shell (voorzitter stuurgroep)

Patrick van der Duin, STT

Pallas Agterberg, Alliander

Theo Bosma, DNVGL

Ruud van den Brink, ECN

Marcelle Mettes, Essent (2016)

Maarten Moolhuysen, Essent (2017)

Richard van de Sanden, DIFFER

Adriaan Slob, TNO

Ralf Vermeer, EZ

Geïnterviewde experts

Pallas Agterberg (Alliander); Jasper van Alten (KIVI); Andrea Balbi (DIFFER); Joris Berkhout (Quintel); Anja Bierberle (DIFFER); Glenn Bijvoets (Eneco); Theo Bosma (DNV-GL); Ewald Breunese (Shell); Ruud van den Brink (ECN); Andries van den Broek (SCP); Jonathan Citrin (DIFFER); Paul Cobden (ECN); Paola Diomedea (DIFFER); Freija van Duijne (EZ); Hans van Eck (DIFFER); Dolf Elsevier van Griethuysen (Van Oord); Marcel van Elswijk (EnergyGO); Michael Gleeson (DIFFER); Martijn de Graaff (TNO); Wim Haije (TU Delft); Jaap van Hal (ECN); Marijn Janssen (TU Delft); Peter de Jong (Natuur & Milieu); Huub Keizers (TNO); John Kerkhoven (Quintel); Rob Kreiter (ECN); Joris Knigge (Mentes Advisory/ISPT); Eppe Luken (ECN); Jeroen Meij (KPMG); Rick Meinema (Min. Defensie); Marcelle Mettes (Essent); Maarten Moolhuysen (Essent); Michael van der Plaats (EZ); Victor van Rij (UvA); Jaime Gomez Rivas (DIFFER); Richard van den Sanden (DIFFER); Adriaan Slob (TNO); Ralf Vermeer (EZ); Arthur Weeber

(ECN); Margot Weijnen (WRR); Stefan Welzel (DIFFER); Egbert Westerhof (DIFFER); Arthur ten Wolde (Circular Future)

Deelnemers workshop – Gebouwde omgeving (8 september 2016)

Pallas Agterberg (Alliander); Nena Beuningen (Essent); Stefan Hartman (Shell); Jos Karssemeijer (Min. EZ); Sem Kippers (Eneco); Dick Kroon (KIVI); Jan-Coen Kruit (Min. BZK); Erik Langereis (DIFFER); Wilbert Prinssen (Technolution); Robbert van Twillert (GWS)

Deelnemers workshop – Transport (30 september 2016)

Ruud van den Brink (ECN); Cock Hazeu (Bureau IEAO); Mark den Heijer (Shell); Manon Jutte (Alliander); Ben Römgens (DNVGL); Balraz Singh (Essent); Heiko Tit (Shell); Robbert van Twillert (GWS); Sander Veer (ANWB)

Deelnemers workshop – Industrie (4 oktober 2016)

Jos Blom (Alliander); John Kerkhoven (Quintel); Ben Römgens (DNVGL); Simone van Tongeren (Evides N.V.); Cor Westerbaan v.d. Meij (KvK Den Haag)

Deelnemers workshop – Young STT (7 oktober 2016)

Isabel Bakker; Stephanie IJff (Deltaris); Mattijs van Katwijk (Studio Meng); Marten Nijhof (TNO); Japke Schreuders (STT); Remco Siemerink; Dhoya Snijders (STT); Monique Timmerman (UMC Utrecht)

Project Haagse Hoge School

Gunita Danenberg; Coen Dekkers (docent); Onandi Elliott; Antti Heikka; Poppy High-Stephenson; Nicola Molz; Yannis Muhima; Eduardo Olmos Arana; Calin Ponea; Matyas Szűcs; Vytautas Zukauskas

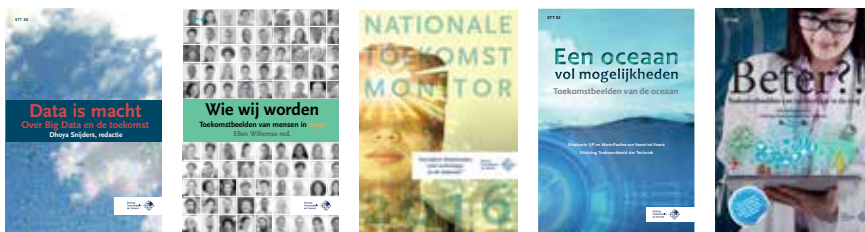
OVER STICHTING TOEKOMSTBEELD DER TECHNIEK

De Stichting Toekomstbeeld der Techniek (STT) is in 1968 opgericht door het Koninklijk Instituut Van Ingenieurs (KIVI). STT is een onafhankelijke stichting die gefinancierd wordt uit bijdragen van overheid en bedrijfsleven. STT voert brede toekomstverkenningen uit op het snijvlak van technologie en samenleving die domeinoverstijgend en interdisciplinair zijn.

Het Algemeen Bestuur (AB) van STT bestaat uit topmensen uit de overheid, het bedrijfsleven, de onderzoekswereld en uit maatschappelijke organisaties. Het AB denkt mee over de STT-programmering, is betrokken bij verkenningen en vormt een belangrijke denktank waarbinnen de bestuursleden praten over toekomstige technologische ontwikkelingen en innovatie.

Daarnaast ontplooit de STT Academy diverse activiteiten, zoals het co-financieren van bijzondere leerstoelen, methodiek-ontwikkeling, de organisatie van masterclasses, en het beheer van het Netwerk Toekomstverkenningen en Young STT. Deze laatste bestaat uit *young high potentials* uit de deelnemende organisaties.

Informatie over STT, haar activiteiten en haar producten is te vinden op www.stt.nl



Een aantal recente verkenningen van STT

STT 86 Data is macht. Over big data en de toekomst.

Dhoya Snijders, 2017

STT 85 Wie wij worden. Toekomstbeelden van mensen in 2050

Ellen Willemse, 2016

STT 84 Nationale Toekomstmonitor; Hoe kijken Nederlanders naar technologie en de toekomst

Dhoya Snijders, 2016

STT 83 Een Oceaan vol mogelijkheden

Stephanie IJff, Marie-Pauline van Voorst tot Voorst, 2016

STT 82 Beter, Toekomstbeelden van technologie in de zorg

Ellen Willemse, 2015

Voor meer publicaties zie www.stt.nl

Samenstelling bestuur STT (augustus 2017)

Dagelijks bestuur

Ir. R. Willems (voorzitter) – Voormalig president-directeur Shell Nederland

Ir. C.C.J. Vincent MBA (vicevoorzitter) – CEO Meratus Line

Mevr. dr. ir. N. Buitelaar MBA (secretaris) – Chief Business Officer, BiosanaPharma

Ir. J.H.J. Mengelers (penningmeester) – Voorzitter College van Bestuur
TU Eindhoven

Drs. M.E. Remerie (lid DB) – Voormalig directeur Business Development
Siemens Nederland

Algemeen bestuur

Prof. dr. E.H.L. Aarts, Rector Magnificus Tilburg University, G. Baron, CTO Amsterdam, H. Blokhuis, CTO & Director for Collaboration & Video, Cisco, Ir. T.J. Bosma, Program Director Power Systems & Electrification, DNV GL Strategic Research & Innovation, Mevr. L. de Bruijn, Directeur Nederland ICT, J.W. Dijkxhoorn MSc, Director Analytical Platform CoE – SAS South West Europe, Prof. dr. ir. L.A.M. van Dongen, CTO NS, Mevr. A.J.A.M. van Erp, Fontys Hogeschool domein Fontys Technology en Innovation, Drs. Th. N.M. Föllings, Manager Bedrijfsomgeving, Ontwikkeling & Innovatie Oost NV, Ir. B.C. Fortuyn, Lid Raad van Bestuur van Siemens Nederland NV, Dr. B. ter Haar (waarnemer), Directeur-generaal Participatie en Inkomenswaarborg, ministerie van SZW, Drs. F.P.U. Haffmans, Managing Director, Head of Corporate Banking Benelux, Bank of America Merrill Lynch, Dr. M. van den Hauten (waarnemer), Plv. directeur Onderzoek en Wetenschapsbeleid, ministerie van OCW, Drs. J.H. Heres (waarnemer), Hoofd Centrale Eenheid Strategie, ministerie V&J, F. Herrebout, Senior Strategy Manager T-Mobile, M.S. Hofland MSc, CEO Capgemini Consulting Nederland, Drs. A.J. van den Hoogen, Director R&D Products and Applications,

Tata Steel Research, Development & Technology, Dr. H. van Houten, Executive Vice President, Philips Research, Dr. T. Jongsma, Directeur Stichting Public Private Partnership Institute for Sustainable Process Technology (ISPT), Mevr. dr. M.J. Jonkman, Corporate director R&D Koninklijke FrieslandCampina, Prof. dr. ir. J.T.F. Keurentjes, CSO, lid Raad van Bestuur TNO, Mevr. mr. B. van der Kolff MBA, Directeur, Lid Directieteam VvAA, Ir. G.A. Kroon, Algemeen directeur ARCADIS Nederland, Dr. B. Leefink (waarnemer), Directeur-generaal Bedrijfsleven en Innovatie, ministerie van EZ, Mevr. drs. E.P.J. Lemkes-Straver, Algemeen Directeur ZLTO, Mevr. ir. M. van Lier Lels, Lid Raad van Commissarissen Eneco, NS, RELX en TKH; diverse bestuursfuncties, Prof. dr. F. Miedema, Decaan faculteit Geneeskunde Universiteit Utrecht, vicevoorzitter raad van bestuur UMC Utrecht, Prof. dr. ir. A.P.J. Mol, Rector magnificus Wageningen University, vicevoorzitter Raad van Bestuur, Ir. P.C. Molengraaf MBA, Voorzitter Raad van Bestuur Alliander, P.W. Mollema MSc, Director Environmental Management, Port of Rotterdam Authority, Ir. M.W. Moolhuijsen, Directeur Strategie Essent, J.A.J.J. van Nieuwkuijk, Business Change Manager Interpolis, Dr. ir. H.H. Nijhuis, Directeur NWO-Domein Toegepaste en Technische Wetenschappen (TTW), voorheen STW, Mevr. prof. mr. A. Oskamp, Rector magnificus van de Open Universiteit, Prof. dr. ir. A. Osseyran, Managing director SURFsara, Mevr. ir. A.M. Ottolini, Algemeen directeur Evides Waterbedrijf, Ir. C.J. Rameau, Lid Raad van Bestuur Eneco Holding NV, Mevr. drs. M.V.I.M dos Ramos, Directeur KIVI, Ir. P. van Riel, CEO Fugro, Ir. P.W.F. Rutten MBA, Partner McKinsey and Company, Prof. dr. ir. W. van Saarloos, Vicepresident KNAW, Ir. Y. Sebregts, Executive Vice President Innovation, R&D, CTO Projects & Technology Royal Dutch Shell, Drs. R. Slotman, Directeur Regieorgaan SIA, Dr. ir. S. van der Sluis, Vice President Technology Strategy DSM, Drs. ing. G.E.A. Smit, CTO IBM Benelux, IBM Distinguished Engineer, F. E. Smith, Director Public Affairs, ANWB, Ir. M.T.J.H. Smits, Algemeen directeur Deltares, Prof. dr. ir. M. Steinbuch, Hoogleraar Automotive Technology TU Eindhoven, Mevr. dr. V.C.M. Timmerhuis, Algemeen Secretaris Sociaal-Economische Raad (SER), Ir. H. Timmerman, CTO Dell EMC Nederland, Mevr. B. Tool, Directeur MaagLeverDarmStichting (MLDS), Dr. J.M.A. Verbakel, VP BCS & Foods Operations, Unilever, Prof. dr. M. Verkerk, Bestuurslid VitaValley, Bijzonder hoogleraar Christelijke Wijsbegeerte TU Eindhoven, Mevr. prof. dr. ir. M.P.C. Weijnen, Hoogleraar TU Delft, faculteit Techniek, Bestuur en Management, lid WRR, Mevr. mr. J.S. van der Woude, Company Secretary and Legal Director Continental Europe, RELX, R. Wullems MSc, Director Innovation & Development PwC Consulting, Drs. R. Zandbergen, CEO USG People, Prof. dr. A.N. van der Zande, Directeur-Generaal Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)

ECN is wel lid van STT, maar heeft momenteel geen afgevaardigden in het bestuur.

Adviserende leden

STT hoogleraren

Prof. dr. ir. V.A.W.J. Marchau, Radboud Universiteit: onzekerheid en adaptiviteit van maatschappelijke systemen, STT-Academy

Mevr. prof. dr. M.H. Martens, Universiteit Twente: Intelligent Transport Systems (ITS) en Human Factors, STT-Academy

Directeur bureau

Dr. P.A. van der Duin

REFERENTIES

- APPM (2014). *Nederland Inductieland?! – Een verkennende studie naar mogelijkheden en potentieel voor inductieladen*. APPM management consultants en Policy Research Corporation
- AWTI (2016). *Oppakken en doorpakken; Durven kiezen voor energie-innovatie*; ISBN 9789077005798
- Bewust nieuwbouw (n.d.). *Wat betekent EPC, BENG, A-label en nul-op-de-meter?*
<https://www.bewustnieuwbouw.nl/epc-energielabel-en-nulop-de-meter/>
- C2ES (2015). *Outcomes of the UN Climate Change Conference in Paris. 21st Session of the Conference of the Parties to the United Nations*
- Casey Research (2013). *Peak Gold by Andrey Dashkov*. <https://www.caseyresearch.com/peak-gold/>
- CBS (2007). *In 2050 meer en kleinere huishoudens*. <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2007/16/in-2050-meer-en-kleinere-huishoudens>
- CBS (2015). *Elektriciteit in Nederland*. <https://www.cbs.nl/-/media/imported/documents/2015/05/2015-elektriciteit-in-nederland.pdf>
- CBS (2016). *ICT, Kennis en Economie 2016*. ISBN 978-90-357-1859-3
- CBS (2016b). *Meer uitstoot broeikasgassen in 2015*. <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2016/36/meer-uitstoot-broeikasgassen-in-2015>
- CBS StatLine (n.d.). <http://statline.cbs.nl/Statweb/>
- Circulair ondernemen (n.d.). <https://www.circulairondernemen.nl/>
- CLO (2007). *Mondiale voorraden energiedragers*. <http://www.clo.nl/indicatoren/nl0051-mondiale-voorraden-energie>
- Duin P van der (2012). *Toekomstonderzoek voor organisaties – handboek methoden en technieken* ISBN 978 90 232 4837 8
- ECN (2011). *Factsheet: kernenergie*. https://www.ecn.nl/fileadmin/ecn/corp/Facts_kernenergie.pdf
- ECN (2013). *ECN vervangt zilver door koper in zonnepaneel*. <https://www.ecn.nl/nl/nieuws/item/ecn-vervangt-zilver-door-koper-in-zonnepaneel/>
- ECN (2015). *Zweeftrein van 2000 km/u slaat 10 procent Nederlandse elektriciteit op*. <https://www.ecn.nl/nl/nieuws/item/zweeftreinvan-2000-kmu-slaat-10-procent-nederlandse-elektriciteit-op/>
- ECN (2016). *Nationale Energieverkenning 2016*. K Schoots, M Hekkenberg en P Hammingh (2016), ECN-O--16-035. Petten: Energieonderzoek Centrum Nederland

- EcoFys (2011). Evolution of energy supply in the Energy Scenario, showing the key developments. In: *The Energy Report 2011*, WWF/Ecofys, <http://www.ecofys.com/files/files/ecofys-wwf-2011-the-energy-report.pdf>
- EIA (2015). *Fossil fuels have made up at least 80% of U.S. fuel mix since 1900*. Bron: U.S. Energy Information Administration (July 2015). <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=21912>
- Emissieregistratie (n.d.). <http://www.emissieregistratie.nl>
- Energysage (2017). *What are the most efficient solar panels on the market?* <http://news.energysage.com/what-are-the-most-efficient-solar-panels-on-the-market/>
- Essent (n.d.). *Allerlei weetjes over windmolens*. <https://www.essent.nl/content/particulier/kennisbank/stroom-gas/weetjes-windmolens.html>
- EU (2009). Richtlijn 2009/28/EG van het Europees Parlement en de Raad
- EUGDR (n.d.). *GDPR Portal – Site Overview*. <http://www.eugdpr.org/>
- European Commission (n.d.). *The EU Emissions Trading System (EU ETS) Policy*. https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en
- EZ, Min. van (2016). *Energierapport – transitie naar duurzaam*
- EZ, Min. van (2016b). *Energieagenda: naar een CO₂-arme energievoorziening*
- Greenpeace (2015). *Energy [r]evolution a sustainable world energy outlook 2015*
- IABR (2016). http://next.iabr.nl/wp-content/uploads/2016/07/IABR-Atelier-2050-An-Energetic-Odyssey_2-@IABR-Tungsten-Pro.jpg
- IPCC (2014). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edenhofer, O, R Pichs-Madruga, Y Sokona, E Farahani, S Kadner, K Seyboth, A Adler, I Baum, S Brunner, P Eickemeier, B Kriemann, J Savolainen, S Schlomer, C von Stechow, T Zwickel and JC Minx (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2014b). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team: Pachauri, RK and LA Meyer (eds.]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp; fig 1.03-01
- Kennislink (n.d.). *Wereldprimeur supergeleidende Hoogspanningskabel*. <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/wereldprimeur-supergeleidende-hoogspanningskabel>
- Kennislink (n.d.-b). *Draadloos opladen via geluid*. <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/draadloos-opladen-via-geluid>
- KNMI (2015). *KNMI'14 klimaatscenario's voor Nederland – Herziene uitgave 2015*
- KNMI (2016). *Database Klimatologie*. <http://projects.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/selectie.cgi>

- Milieu Centraal (2016). *400.000 huizen met zonnepanelen: hoe kom je er bij?*
<https://www.milieucentraal.nl/nieuwsbrieven/professionals/juli-2016/400000-huizen-met-zonnepanelen-hoe-kom-je-er-bij/>
- NASA (n.d.). *Armstrong Flight Research Center*. https://www.nasa.gov/centers/armstrong/programs_projects/electric_propulsion/index.html
- New Scientist (2016). *Thync piece: Do mind-altering wearables live up to the billing?* <https://www.newscientist.com/article/2083126-thync-piece-do-mind-altering-wearables-live-up-to-the-billing/>
- Our world in data (2017). *World Population Growth*. Roser M and E Ortiz-Ospina: <https://ourworldindata.org/world-population-growth/> [Online Resource]
- Our world in data (2017b). *Global Extreme Poverty*. Roser M and E Ortiz-Ospina: <https://ourworldindata.org/extreme-poverty/> [Online Resource]
- PBL (2012). *Schaarste van grondstoffen*. Notitie t.b.v. Kenniskamer Schaarste dinsdag 9 oktober 2012, Johan de Witthuis. Manders T en J Timmerhuis
- PBL (n.d.). *Tabel met overzicht energie- en klimaatdoelen Nederland, Duitsland, België, Verenigd Koninkrijk, Denemarken en Frankrijk*
- Quintel (2016). *Industrie in Transitie: een visie op de toekomstige energie- en grondstofvraag van de energie-intensieve industrie in Nederland vanuit inconsistenties in het huidige denken*
- Rli (2014). *Doen en laten – Effectiever milieubeleid door mensen kennis*. ISBN 978-90-75445-00-8
- Rli (2015). *Rijk zonder CO₂, naar een duurzame energievoorziening in 2050*. ISBN 978-90-77166-61-1
- Science Asia (2010). A rock fills based solar thermal energy storage system for housing. In: ScienceAsia 36 (2010): 237–243; Decho Phueakphum , Kittitip Fuenkajorn
- SCP (2010). *De publieke opinie over kernenergie*. Dekker, P, I de Goede, J van der Pligt. ISBN 978-90-377-0488-4
- SCP (2014). *Burgerperspectieven. Kwartaalbericht 2014*|4. ISBN 978 90 377 0735 9
- Senternovem (2006). *Basisdocument: Wat is duurzaam bouwen? – Leidraad voor het samenstellen van lesmateriaal in het onderwijs voor de bouw, stedenbouw en GWW*. BOOM-SI, Milieukundig Onderzoek- & OntwerpBuro Delft; Stofberg F
- SER (2013). *Energieakkoord voor duurzame groei*. ISBN 978-94-6134-057-3
- SSI (n.d.). *Sun-powered laser beaming from space for electricity on earth*. <http://ssi.org/reading/papers/sun-powered-laser-beaming-fromspace-for-electricity-on-earth/>

- Stanford University (2011). *List of Behavioral Economics Principles that can Inform Energy Policy*. Houde, S and A Todd
- STT (2014). *Horizonscan 2050*. STT80
- STT (2016). *Wie wij worden – Toekomstbeelden van mensen in 2050*. STT85
- STT (2017). *Data is macht – Over big data en de toekomst*. STT86
- STT (2018). toekomstverkenning over leren (op moment van uitgave van deze publicatie loopt de studie nog)
- Taskforce Bouwagenda (2016). *De Bouwagenda – Bouwen aan kwaliteit van leven*
- The Economist (2012). *Pricing sunshine – The rise of solar energy* <https://www.economist.com/blogs/graphicdetail/2012/12/daily-chart-19>
- TNO (n.d.). *Warmtebatterij: Doorbraak opslag duurzame energie*. <https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/leefomgeving/buildings-infrastructures/energiepositieve-gebouwde-omgeving/warmtebatterij-doorbraak-opslagduurzame-energie/>
- TNO/ECN (2016). *Empowering the Chemical Industry – Opportunities for electrification*
- Universiteit Twente (2012). *Tecnotheek: Zelfhelende materialen*. http://technotheek.utwente.nl/wiki/Zelfhelende_materialen
- Urgenda (2010). *Samen sneller duurzaam – Urgenda visie 2050*
- Urgenda (2014). *Nederland 100% duurzame energie in 2030*
- Verbeek, PP, A. Slob (2006). *User behavior and technology development*
- WEF (2017). *Global Risks Report 2017 – 12th Edition*
- WRR (2014). *Met kennis van gedrag beleid maken*. Synopsis van WRR-rapport. 92 ISBN 978 90 8964 871 6
- Zonatlas (2015). *Alle Nederlandse daken samen in staat om minimaal 50 miljard kWh zonne-energie op te wekken!* http://www.zonatlas.nl/Zonatlas_persbericht_5juni2015.pdf

EEN WOORD VAN DE AUTEUR



Als ik met een groep mensen ben en het onderwerp energie komt ter sprake, dan word ik erg enthousiast. Dit komt voort uit de behoefte om iets te doen voor een betere wereld. Doordat energie onlosmakelijk verbonden is aan de problemen van klimaatverandering, heb ik het gevoel dat ik met dit onderwerp iets kan bijdragen aan de oplossingen voor dit probleem.

Sinds ik in januari 2016 aan deze studie ben begonnen is mijn fascinatie voor het energiesysteem toegenomen: de hoeveelheid zonnepanelen die steeds meer op de daken komen, en de opkomst van de elektrische auto gaat ook maar door. Echt leuk vond ik het om na te denken over de verre toekomst. Ik zie het wel zitten om nooit meer te hoeven tanken omdat mijn auto middels inductieplaten in de weg oplaadt tijdens het rijden. Of dat de lichten in huis vanzelf uitgaan als ik niet in de

kamer ben. En de wasmachine die aangaat als de stroom het goedkoopst is omdat een *slimme meter* in huis mij niet meer alleen inzicht geeft in mijn energieverbruik, maar ook keuzes maakt voor mij.

Een emissievrij energiesysteem in 2050 is zeker mogelijk, maar hier is naar mijn idee veel meer actie voor nodig. Er wordt nog te makkelijk gedacht over het bereiken van deze doelstellingen. Wat deze studie mij heeft geleerd is dat het technologisch mogelijk gaat worden om een emissievrij energiesysteem in 2050 te realiseren. Er moet alleen veel meer nagedacht worden over de manier waarop nieuwe technologie ingezet gaat worden en hoe we blijven zorgen dat energie voor iedereen beschikbaar en betaalbaar blijft.

Hopelijk helpt het lezen van deze publicatie u om deze vragen meer op de kaart te zetten bij het debat over de toekomst van ons energiesysteem.

Soledad van Eijk

Energie en klimaat, onlosmakelijk aan elkaar verbonden. In 2050 moet er een energiesysteem zijn dat nagenoeg geen broeikasgassen meer uitstoot. Om dit te bereiken zijn er veel veranderingen nodig aan het energiesysteem zoals we dat nu kennen. Bij deze veranderingen komen een heleboel technologische ontwikkelingen kijken. De manier hoe we deze technologieën gaan gebruiken betekent heel veel voor hoe het energiesysteem er uiteindelijk uit zal zien.

Er zijn verschillende transitiepaden naar een emissievrij energiesysteem in 2050. Aan de hand van scenario's kijken we in deze publicatie naar verschillende toekomstbeelden. De transitiepaden die bij deze scenario's horen kunnen gebruikt worden om huidige keuzes over energie en de doelstellingen beter te kunnen maken. Dit om naar een toekomst te gaan waar iedereen in Nederland beschikking heeft tot betaalbare en duurzame energie.

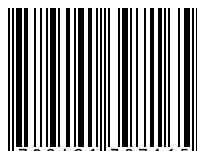


Stichting
Toekomstbeeld
der Techniek

www.stt.nl



ISBN 978-94-91397-16-5



9 789491 397165 >