

14% DUURZAME ENERGIE IN 2020

EEN RAPPORT OVER DE HAALBAARHEID EN DE INVULLING VAN DEZE DOELSTELLING

Auteur: T. Berg (2503121)
Vak: Bachelorthesis Aarde en Economie (450254)
Opleiding: BSc Aarde en Economie
Instelling: Vrije Universiteit Amsterdam
Scriptie begeleider: Dr. E. Koomen
Tweede begeleider: Dr. P. Mulder



VOORWOORD

Deze bachelorthesis is geschreven ter afsluiting van de opleiding Aarde en economie in opdracht van de Vrije Universiteit Amsterdam. Er is onderzoek gedaan naar de duurzame energiedoelstelling die Nederland heeft aanvaard, en dan in het bijzonder naar de haalbaarheid ervan en hoe deze doelstelling kan worden ingevuld in termen van allocatie en duurzame energiebronnen.

Duurzame energie is een onderwerp waar ik mij al een lange tijd voor interesseer. Toen begin 2014 in de media kwam dat Nederland vergeleken met de rest van Europa enorm achter loopt op het gebied van hernieuwbare energie zag ik een mogelijkheid om hier iets mee te doen. Ik heb mijn best gedaan om er voor te zorgen dat dit voor de lezer niet louter een studieopdracht lijkt, maar een serieuze thesis die met oprechte interesse en nieuwsgierigheid geschreven is.

Noemenswaardig is ook de begeleiding die ik heb gekregen van mijn eerste begeleider: dr. E. Koomen, en mijn tweede begeleider: dr. P. Mulder. Dank voor jullie sturing.

SAMENVATTING

Deze bachelorthesis geeft de resultaten weer van een onderzoek naar de haalbaarheid en de invulling van de duurzame energiedoelstellingen die Nederland in 2004 aanvaard heeft. Dat dit een interessant onderwerp is blijkt uit het feit dat momenteel slechts 4,5% van de energievoorziening van dit land duurzaam is terwijl dit in 2020 14% moet zijn. Dit lijkt een onhaalbaar doel. Uit dit onderzoek zal blijken of dit ook daadwerkelijk zo is.

Eerst wordt er ingegaan op de huidige stand van zaken: waarom loopt Nederland zo erg achter op de rest van Europa? Vervolgens wordt deze redelijk abstracte doelstelling van 14% gekwantificeerd zodat er in de onderdelen hierna berekeningen mee kunnen worden uitgevoerd. In het derde onderdeel van deze thesis wordt er uitgebreid ingegaan op de mogelijkheden die Nederland heeft om deze energiedoelstelling te halen en met welke vormen van duurzame energie ze dat kan doen. Uiteindelijk zal er ook ruimte beschikbaar moeten zijn in Nederland om een dergelijke doelstelling te kunnen uitvoeren. Met behulp van een GIS zal geïllustreerd worden of er in Nederland ruimte is voor meer grootschalige duurzame energie, en zo ja, waar dat het beste zou kunnen.

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD	2
SAMENVATTING	3
INHOUDSOPGAVE	4
1. INTRODUCTIE	5
1.1 DEELVRAGEN	6
2. RESULTATEN	8
2.1 POTENTIËLE OORZAKEN LAAG PERCENTAGE HERNIEUWBARE ENERGIE	8
POTENTIËLE OORZAKEN	8
2.2 EXTRA BENODIGDE HERNIEUWBARE ENERGIE IN NEDERLAND	12
INLEIDING	12
EXTRA HERNIEUWBARE ENERGIE	12
2.3 DUURZAME ENERGIESCENARIO'S	14
DE SCENARIO'S	14
MULTICRITERIA-ANALYSE	17
RUIMTEVRAAG	21
3. DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN	25
4. CONCLUSIES	27
5. REFERENTIES	30

1. INTRODUCTIE

Tijdens de European Conference for Renewable Energy in Berlijn in 2004 heeft de Europese Unie ambitieuze doelstellingen geformuleerd op het gebied van duurzame energie. Deze doelstellingen moesten leiden tot het gebruik van 20% duurzame energie ten opzichte van het totale energieverbruik in de EU-28 landen tegen het jaar 2020 waarvan 10% wordt behaald in de transportsector.

Landen als Oostenrijk en Finland hebben nog maar een kleine weg te gaan; momenteel komt respectievelijk 32,1% en 34,3% van hun totale energieproductie uit hernieuwbare energiebronnen terwijl hun doelstellingen voor 2020 respectievelijk 34% en 38% zijn (Eurostat, 2014). Nederland daarentegen moet nog flink wat stappen zetten om de beoogde 14% te halen; slechts 4,5% van de totale energieproductie in Nederland komt uit hernieuwbare bronnen (Eurostat, 2014).

Met deze kennis komt er een aantal problemen om de hoek kijken. Allereerst de bevolkingsdichtheid. In 2013 woonde er gemiddeld 498 mensen per km² (CBS, 2013). Daarmee hoort Nederland tot een van de meest dichtbevolkte landen ter wereld en wordt het een hele opgave om deze energiefaciliteiten een geschikte plaats te geven waarbij mens en natuur zo min mogelijk worden geschonden. Het volgende probleem is welke energiebronnen er gebruikt moeten worden. Aangezien er in Nederland niet zoveel ruimte beschikbaar is als in de meeste andere landen, zal bijvoorbeeld het gebruik van zonnepaneelvelden onwaarschijnlijk zijn; deze vorm van energie is momenteel namelijk relatief inefficiënt (rendement is max. ca. 15%) (Solarwijzer, 2014). Er zal dus moeten worden gezocht naar efficiënte vormen van energieopwekking die goed in ons landschap passen. Er zijn momenteel al wel ideeën over hoe deze extra hernieuwbare energie opgewekt zou moeten worden, hierbij richt men zich echter voornamelijk op het bouwen van windmolenparken terwijl het goed is om te kijken naar andere alternatieven. Samen vormen deze problemen onderzoekswaardig materiaal, Nederland kan immers niet achterblijven op dit gebied met haar reputatie als kennisland. De probleemstelling die dit onderzoek zal leiden is dan ook als volgt:

“Wat is de haalbaarheid van de hernieuwbare energie doelstellingen die Nederland in 2004 heeft aanvaard en hoe kan deze doelstelling behaald worden voor 2020?”

1.1 DEELVRAGEN

Om tot een volledig antwoord op de probleemstelling te komen is het noodzakelijk de probleemstelling op te delen in meerdere deelvragen. Deze deelvragen moeten in een logische volgorde worden gesteld om zo tot de algehele conclusie te leiden. Allereerst is het van belang om te weten wat de reden is dat Nederland relatief weinig hernieuwbare energie opwekt in verhouding tot de andere EU-28 landen die ook een duurzame energiedoelstelling hebben aanvaard. Het is aannemelijk dat dit afwijkende aandeel duurzame energie één of meerdere oorzaken heeft. Daarom zal er in het eerste onderdeel van de resultaten kort worden ingegaan op mogelijke oorzaken van Nederlands positie in de achterhoede op dit gebied. De eerste deelvraag luidt dan ook:

“Wat zijn potentiële oorzaken van Nederlands relatief lage percentage opgewekte hernieuwbare energie?”

Ten tweede is het van belang om de benodigde extra duurzame energie te kwantificeren zodat er kan worden bepaald met welke soorten hernieuwbare energiebronnen dit gaat worden opgewekt. De tweede deelvraag die correspondeert met het tweede hoofdstuk luidt als volgt:

“Hoeveel extra energie moet er worden opgewekt uit hernieuwbare energiebronnen om te voldoen aan de 14%-doelstelling?”

Vervolgens is het van belang om te weten op welke manier deze energie opgewekt zal worden. Daar zal een aantal scenario's voor gemaakt worden die laten zien hoeveel energie er met welke energiebron opgewekt zal worden. Aan de hand van deze scenario's kan er worden ingegaan op de kostbaarheid ervan en dus ook al op de haalbaarheid van een bepaald scenario. De eerstvolgende deelvraag zal dan ook als volgt zijn:

“Welke vormen van hernieuwbare energie zijn het meest geschikt voor het behalen van de hernieuwbare energiedoelstelling, en hoe kan Nederland de extra benodigde hoeveelheid energie tot 2020 invullen?”

Nu de cijfers betreft de benodigde extra energie uit hernieuwbare bronnen bekend zijn, kan hier in het derde hoofdstuk mee gerekend worden, gebruik makend van GIS. Er moet een Multicriteria-analyse uitgevoerd worden om te ontdekken welke locaties in Nederland geschikt zijn voor het opwekken van verschillende vormen van duurzame energie zoals die in de scenario's beschreven zijn. Vervolgens kan er worden bepaald hoeveel ruimte er nodig is voor het opwekken van een bepaalde hoeveelheid energie door een bepaalde hernieuwbare energiebron. Dit wordt gedaan met behulp van de verschillende scenario's uit de vorige deelvraag. De laatste deelvraag zal als volgt luiden:

“Uitgaande van de scenario's die in het antwoord op de vorige deelvraag opgesteld zijn, welk scenario is het meest haalbaar en welke locaties zijn het meest geschikt voor het behalen van de duurzame energiedoelstelling voor 2020?”

2. RESULTATEN

2.1 POTENTIËLE OORZAKEN LAAG PERCENTAGE HERNIEUWBARE ENERGIE

Nederland genereert relatief weinig hernieuwbare energie in verhouding tot de meeste EU-28 landen. In 2012 mocht slechts 4,5% van alle opgewekte energie in Nederland duurzaam genoemd worden, blijkt uit cijfers van het Centraal Bureau voor de Statistiek (2013). Buurland Duitsland deed het in 2012 bijvoorbeeld een stuk beter met een aandeel van 12,4% (Eurostat, 2014).

In de introductie van deze thesis is het duidelijk geworden dat Nederland een aantal doelstellingen te behalen heeft voor 2020. Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden en tot de ontdekking te komen of de duurzame energiedoelstellingen die Nederland heeft aanvaard haalbaar zijn, is het belangrijk om te weten wat de redenen zijn dat Nederland relatief gezien zo weinig hernieuwbare energie opwekt.

POTENTIËLE OORZAKEN

Er bestaan verschillende mogelijke redenen waarom Nederland achter ligt op het gebied van hernieuwbare energie. Onderzoek van Heilbron et. al. (de Groene Amsterdammer, 2013) wijst bijvoorbeeld uit dat het Nederlandse energiebeleid sterk wordt beïnvloedt door lobby's vanuit de gasector en de energie-intensieve industrie. Volgens dezelfde onderzoekers gebeurde het in het verleden regelmatig dat de overheid zei in te spelen op een groei naar meer hernieuwbare energie, maar tegelijkertijd investeerde in goedkopere, fossiele alternatieven. Een ander voorbeeld, dat duidt op een energiebeleid waar fossiele energie nog steeds acceptabel is, zijn drie nieuwe kolencentrales op de Maasvlakte waarvan de bouw in 2008 begon (E.ON, 2003). Een beleid dat zich op de lange termijn op fossiele energie blijft richten zal een transitie naar het gebruik van meer hernieuwbare energiebronnen waarschijnlijk vertragen, en kan dus een van de oorzaken zijn dat Nederland momenteel relatief weinig duurzame energie opwekt. Dit beleid beïnvloedt niet alleen het duurzaam worden van de gasindustrie,

maar ook van de elektriciteitsindustrie. Momenteel draaien immers 52 elektriciteitscentrales in Nederland op gas (ECN, 2005).

Ook de Nederlandse gasvoorraden in de noordelijke provincies mogen niet ongenoemd blijven in deze kwestie. Het Ministerie van Economische Zaken deed in 2011 een onderzoek naar de gasvoorraden in Nederland. Schattingen kwamen uit op een volume van 1.230 miljard Sm³¹. Het International Energy Agency (IEA) schat dat dit waarschijnlijk genoeg aardgas is voor de komende 50 jaar mits er actief gas blijft worden gewonnen en er nieuwe technologieën zullen worden toegepast (IEA, 2013). Wanneer een land als Nederland een gasvoorraad heeft als deze is de prikkel om over te schakelen naar een economie die draait op hernieuwbare gasbronnen relatief klein. De Nederlandse staat wint haar aardgas niet zelfstandig maar draagt gemiddeld voor 40% bij aan de gaswinning door middel van samenwerkingsverbanden met gasmaatschappijen en investeerders die het gas opsporen. Daarnaast verdient de overheid ook nog eens aan gaswinning uit kleine gasvelden door tot 50% belasting te heffen over dit gewonnen aardgas. Op deze manier komt ongeveer 70% van alle opbrengsten uit het gewonnen aardgas in de staatskas terecht (EBN, 2012). In 2008 bedroegen de aardgasbaten €15 miljard wat betekende dat zij een aandeel vormden van 7,5% van de totale staatsinkomsten (CBS, 2010).

Niet geheel onbelangrijk is ook de werkgelegenheid die de Nederlandse gassector met zich meebrengt. Nederland is de grootste aardgasproducent van de Europese Unie en zorgt daarmee voor ongeveer 16.200 banen (EBN, 2012). Wanneer de overheid zou besluiten een snelle transitie te maken naar een hernieuwbare methode van gaswinning zou een gedeelte van deze banen in gevaar kunnen komen gezien het specialistische karakter van veel van deze banen. Een baan in de biogasindustrie vereist in sommige delen van de sector andere kwaliteiten van een werknemer dan een baan in de aardgasindustrie.

Blijkbaar is de aardgassector onmisbaar voor de Nederlandse staat. De kans is groot dat dit gegeven deel uit heeft gemaakt van de oorzaken

¹ Staat voor Standaard m³. Dit houdt in dat de aardgasreserves worden weergegeven in m³ bij een druk van 101,325 kPa en 15 °C (Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, 2011).

waarom Nederland de afgelopen tien jaar een relatief zwakke groei heeft gekend in het aandeel hernieuwbare energie.

Een andere mogelijke reden waarom Nederland in de achterhoede loopt, betreft de relatief geringe subsidiering van duurzame energie. Dit staat echter onderhevig aan het Nederlandse belang bij duurzame energie wat in de vorige alinea's is besproken. Duitsland heeft bijvoorbeeld al jaren een subsidieregeling waarbij particulieren en bedrijven tegen een laag rentepercentage een lening bij de Duitse overheid konden krijgen om te investeren in zonnepanelen. Daarnaast mag ieder die een zonnepaneel heeft 20 jaar lang gegarandeerd tegen een gunstig tarief zijn of haar stroom terug leveren (Duitslandweb, 2014). Dit heeft er aan bijgedragen dat nu meer dan 20% van de elektriciteit die in Duitsland wordt opgewekt hernieuwbaar is. Nederland heeft sinds 2009 de zogeheten Stimulering Duurzame Energie (SDE). Deze regeling geeft burgers de kans om tot 5000kWh stroom terug te leveren, hier wordt dan een vergoeding voor gegeven die gelijk is aan de gemiddelde prijs die ze betalen voor hun stroom (RVO, 2014). Deze regeling heeft echter in het eerste jaar nog niet de gewenste impuls gegeven (Energieplus, 2010). Naast deze regeling bestaan er ook gemeentelijke initiatieven. Ook verschillende stichtingen stimuleren tegenwoordig actief het opwekken van duurzame energie door bijvoorbeeld collectieve kortingen te geven op zonnepanelen.

Een ander belangrijk argument is de Nederlandse transportsector. Mede dankzij het grootste haven- en industriecomplex van Europa, de haven van Rotterdam, is de Nederlandse transportsector sterk internationaal georiënteerd. Dit kan worden geconcludeerd uit cijfers van het MKB (2011) die een exportwaarde laten zien van 7% van het totale bedrijfsleven in Nederland. Tegenwoordig rijden vrachtwagens nog vrijwel allemaal op fossiele brandstoffen, dit maakt het voor een doorvoerland als Nederland lastiger om het percentage duurzame energie omhoog te krijgen. Ook de glastuinbouw in Nederland draagt flink bij aan het landelijke energieverbruik, voor namelijk zo'n 4% (CBS, 2012).

Ook zijn er een aantal geografische redenen te noemen waarom het ene land het beter doet op het gebied van duurzame energie dan de ander. Een

analyse van de EU28-landen laat zien dat landen met een bergachtig landschap, zoals bijvoorbeeld Zweden, over het algemeen meer hernieuwbare energie produceren dan landen met weinig reliëf in het landschap (Tabel 1). Dit is logisch te verklaren, aangezien in bergachtige gebieden veelal waterkrachtcentrales kunnen worden ingezet om energie op te wekken. Daarnaast hebben grote waterkrachtcentrales (>5MW) een rendement van rond de 95%; kleine waterkrachtcentrales (<5MW) rond de 80-85% (MPowerUK, 2014). Dit is efficiënter dan bijvoorbeeld zonne-energie, een rendement heeft van max. ca. 15% (Solarwijzer, 2014).

Deze gegevens verklaren mogelijk voor een deel waarom landen als Groot-Brittannië, Nederland en België in de achterhoede lopen voor wat betreft het toepassen van hernieuwbare energie; zij kunnen immers de meest efficiënte vorm van duurzame energie, waterkracht, slechts op zeer kleine schaal toepassen.

EU-lidstaat	Percentage hernieuwbare energie. ²	Grootschalige waterkracht mogelijk ³	Grootschalige windkracht mogelijk ⁴	Grootschalige zonne-energie mogelijk ⁵
Groot-Brittannië	4,2	-	++	--
Nederland	4,5	--	++	-
België	6,8	-	+	-
Hongarije	9,6	-	-	+
Duitsland	12,4	-	+	±
Frankrijk	13,4	+	+	+
Griekenland	15,1	+	--	++
Italië	13,5	+	--	++
Spanje	14,3	++	+	++
Portugal	24,6	±	-	++
Oostenrijk	32,1	++	-	±
Finland	34,3	±	+	--
Zweden	51,0	++	+	--

Tabel 1: EU-lidstaten en hun voorkomens van mogelijkheden tot hernieuwbare energie naar %

² (Eurostat, 2012).

³ Gebaseerd op de mate van reliëfverschil en de aanwezigheid van rivieren in het desbetreffende land (Wikimedia, 2014).

⁴ Gebaseerd op de gemiddelde jaarlijkse windsnelheid in het desbetreffende land (AWS Truepower, 2012).

⁵ Gebaseerd op de gemiddelde jaarlijkse instraling van de zon (SolarGIS, 2011).

2.2 EXTRA BENODIGDE HERNIEUWBARE ENERGIE IN NEDERLAND

INLEIDING

Om te ontdekken of 14% een reëel en haalbaar doel is, is het allereerst belangrijk om het gat van 9,5% te kwantificeren zodat er later in de thesis scenario's kunnen worden opgesteld die dit gat in kunnen vullen. Dit onderdeel van de thesis focust zich voornamelijk op het kwantificeren van de extra benodigde hoeveelheid duurzame energie, om zo te kunnen onderzoeken of de doelstelling die Nederland in 2004 aanvaard heeft reëel is.

EXTRA HERNIEUWBARE ENERGIE

Er zijn fundamenteel gezien verschillende manieren om de 14%-doelstelling te behalen. Er kan worden gekozen om minder fossiele energie op te wekken en het gat wat hierdoor ontstaat op te vullen met het opwekken van hernieuwbare energie. Er kan worden gekozen om de huidige productie van fossiele energie door te zetten en meer hernieuwbare energie op te wekken. Ook kan er worden gekozen om enkel de productie van fossiele energie te verminderen totdat het aandeel hernieuwbare energie ten opzichte van het totaal gelijk is aan 14%, dit is echter geen reële strategie aangezien Nederland dan relatief veel energie zou moeten gaan importeren terwijl de capaciteit gewoon aanwezig is.

Zoals in het vorige onderdeel van deze thesis werd verteld, draait de Nederlandse economie voor een groot deel op fossiele brandstoffen waarbij ook de aardgasvoorraad in het Noorden van Nederland een belangrijke rol speelt. Het verminderen van de productie van fossiele energie lijkt dus geen reële optie, al zou dit natuurlijk wel leiden tot het sneller behalen van de hernieuwbare energiedoelstellingen. Ook zou deze strategie meer in lijn zijn met het streven naar een volledig duurzame energievoorziening in 2050, aangezien het dan toch de bedoeling is dat er geen fossiele energie meer geproduceerd wordt.

Vanzelfsprekend zit er een verschil in hoeveel duurzame energie er wordt verbruikt en hoeveel er wordt opgewekt vanwege de import en export van energie. Het doel is volgens de Europese Commissie dat in 2020 gemiddeld 20% van de opgewekte energie in Europa hernieuwbare energie is (Eurostat, 2014).

In 2012 is er in Nederland 140PJ aan hernieuwbare energie opgewekt en verbruikt; dit was 4,3% van het totale aandeel opgewekte energie van 3.269PJ. Dit betekent dat 14% van het aandeel hernieuwbare energie in de gehele energievoorziening gelijk staat aan 456PJ. Dit is in het scenario waarbij er tegelijkertijd ook minder fossiele energie opgewekt gaat worden. In deze paragraaf is echter tot de conclusie gekomen dat dit geen reële strategie is en dat er waarschijnlijk meer hernieuwbare energie bovenop de huidige capaciteit geproduceerd zal moeten worden. De nieuwe totale energieproductie en het bijbehorende verbruik aan hernieuwbare energie is te berekenen aan de hand van de volgende set vergelijkingen waarbij E_f staat voor de fossiele energieproductie in 2020, E_h voor de hernieuwbare energieproductie in 2020 en E_{tot} voor de totale energieproductie in 2020:

$$\begin{aligned}
 E_f &= 3129 \\
 E_h &= 0,14E_{tot} \\
 E_{tot} &= E_f + E_h \\
 E_{tot} - 0,14E_{tot} &= 3129 \\
 0,86E_{tot} &= 3129 \\
 E_{tot} &= 3129/0,86 \approx 3638PJ \\
 E_h &= 0,14 * 3638 \approx 509PJ
 \end{aligned}$$

Met andere woorden: als Nederland in 2020 14% van het totale energieverbruik hernieuwbaar wil laten zijn zonder daarvoor een deel van de huidige fossiele energieproductie op te geven zullen ze met de meest recente gegevens voor wat betreft de Nederlandse energiebalans in totaal 509PJ op moeten wekken, ervan uitgaande dat Nederland geen hernieuwbare energie zal importeren om haar doelstelling te behalen. Dit is ook onder de aanname dat Nederland tot aan 2020 in totaal niet meer energie zal gaan verbruiken. TNO heeft in het rapport 'Naar een toekomstbestendig energiesysteem voor Nederland' (2013) verschillende studies bestudeerd en toekomstprognoses uitgezet voor wat betreft het energieverbruik. Het energieverbruik voor 2020 loopt uiteen van 3000 tot 4000PJ. Voor het gemak gaan we er vanuit dat het energieverbruik constant blijft. Het verschil met de huidige hoeveelheid hernieuwbare energie (509-140) is 369PJ. Dit is de hoeveelheid duurzame energie die er bovenop de huidige capaciteit geproduceerd zal moeten worden om te voldoen aan de 14% doelstelling voor 2020.

2.3 DUURZAME ENERGIESCENARIO'S

Nu er duidelijk is hoeveel hernieuwbare energie er extra zal moeten worden opgewekt door Nederlandse energiebedrijven kunnen er scenario's uitgezet worden die per jaar 369PJ aan hernieuwbare energie opwekken. Gezien de tijd die er voor dit onderzoek staat zullen er drie scenario's opgesteld worden die in het volgende onderdeel getoetst zullen worden aan de hand van een Multicriteria-analyse. Deze drie scenario's moeten zich onderscheiden in de verhoudingen tussen het gebruik van zonne-energie en windenergie. Deze vormen van hernieuwbare energie worden in dit onderzoek vertaald naar het aanleggen van windmolenparken en zonneparken, het installeren van zonnepanelen op particuliere daken gaat immers op initiatief van de burger terwijl zonneparken door middel van, bijvoorbeeld, PPS kunnen worden gefinancierd. Ook wordt er in dit onderzoek enkel gekeken naar de potentie van windmolenparken op land, voorlopig is windenergie op zee namelijk nog niet rendabel genoeg (Shell, 2012). In het voorstadium van dit onderzoek is er overwogen om ook biomassa mee te nemen in deze analyse. Na enig onderzoek is echter gebleken dat dit niet realistisch is. Voor de energievoorziening van 1 persoon is namelijk gemiddeld 600m² aan grond nodig terwijl dit voor wind- en zonne-energie respectievelijk 150m² en 13m² is (PBL, 2013). In een land als Nederland, waar relatief veel ruimteproblematiek is, betekent dit dat inzetten op energie uit biomassa niet realistisch is.

DE SCENARIO'S

Het eerste scenario, *SIDE2020 (Scenario 1 Duurzame Energie tot 2020)*, maakt gebruik van een gelijke verdeling tussen zon- en windenergie (zie Tabel 2). Aangezien zonne-energie een hoger rendement heeft per m² zal dit het scenario zijn wat het minste ruimte inneemt. Dit scenario is echter wel het duurst; de aanleg van een zonnepark kost per m² gemiddeld zo'n €59,-⁶.

⁶ Gebaseerd op gegevens van het Waldpolenz Solar Park in Duitsland (Juwi, 2014), dat zich op dezelfde breedtegraad bevindt als Nederland en dus ook min of meer hetzelfde rendement zou hebben wanneer er een dergelijk zonnepark in Nederland aangelegd zou worden.

Tabel 2: Eigenschappen S1DE2020

Scenario 1	Percentage	Equivalent aan (PJ)	Vermogen in W/m ²	Vermogen in J/jaar/m ²	Vermogen in PJ/jaar/m ²
Zonne-energie	50%	184,5	4,1	129.297.600	1,29298E-07
Windenergie	50%	184,5	3,5	110.376.000	1,10376E-07
	Benodigde m ²	M ² /eenheid	Benodigde eenheden	€/m ²	Totale kosten
Zonne-energie	14.269 ha	3	475.646.880	€ 59	€ 84.189 mln.
Windenergie	16.715 ha	160.000	10.447	€ 26	€ 43.460 mln.
	30.984 ha				€ 127.650 mln.

De kosten van windenergie zijn gemiddeld met een factor 2 kleiner, zo'n €26,- per m²⁷. Er is tot de keuze gekomen om het maximale aandeel van zonne-energie in de duurzame energiescenario's 50% te laten zijn. Deze keuze is gemaakt uit hypothetische overwegingen; het zou niet logisch zijn om de doelstelling van 14% proberen te realiseren met het aanleggen van meer oppervlakte aan zonnepanelen dan aan windturbines gezien de prijs die meer dan twee keer zo hoog ligt per m². Een combinatie is wel heel goed mogelijk uit ruimte-overwegingen.

Het tweede scenario, S2DE2020, vult de doelstelling in met minder zonne-energie en meer windenergie (zie Tabel 3). Dit maakt het toepassen van dit scenario goedkoper (€16,29 miljard), maar zal wel meer ruimte in beslag nemen. Het gaat hierbij om een verschil van ongeveer 98 km², een gebied ter grootte van de gemeente Arnhem.

Tabel 3: Eigenschappen S2DE2020

Scenario 2	Percentage	Equivalent aan (PJ)	Vermogen in W/m ²	Vermogen in J/jaar/m ²	Vermogen in PJ/jaar/m ²
Zonne-energie	30%	110,7	4,1	129.297.600	1,29298E-07
Windenergie	70%	258,3	3,5	110.376.000	1,10376E-07
	Benodigde ha	M ² /eenheid	Benodigde eenheden	€/m ²	Totale kosten
Zonne-energie	8.561 ha	3	285.388.128	€ 59	€ 50.513 mln.
Windenergie	23.401 ha	160.000	14.626	€ 26	€ 60.844 mln.
	31.963 ha				€ 111.358 mln.

⁷ Gebaseerd op gegevens van het Ministerie van Economische Zaken (2009) en gegevens van het Technisch Weekblad (2009). Windmolens staan afhankelijk van het rotorblad gemiddeld zo'n 400 meter van elkaar af en nemen hierdoor over het algemeen zo'n 160.000m² aan ruimte in.

Dit tweede scenario kan worden beschouwd als een tussenoptie, het derde scenario zal immers nog meer ruimte innemen en minder kosten met zich meebrengen. Een situatie waarin dit scenario waarschijnlijk toegepast zal worden is wanneer er niet voldoende ruimte beschikbaar is om het derde scenario toe te passen, maar voldoende financiële middelen om dit scenario toe te kunnen passen.

Tabel 4: Eigenschappen S3DE2020

Scenario 3	Percentage	Equivalent aan (PJ)	Vermogen in W/m ²	Vermogen in J/jaar/m ²	Vermogen in PJ/jaar/m ²
Zonne-energie	10%	36,9	4,1	129.297.600	1,29298E-07
Windenergie	90%	332,1	3,5	110.376.000	1,10376E-07
	Benodigde m ²	M ² /eenheid	Benodigde eenheden	€/m ²	Totale kosten
Zonne-energie	3.343 ha	3	111.437.269	€ 59	€ 16.837 mln.
Windenergie	25.684 ha	160.000	16.053	€ 26	€ 78.288 mln.
	32.941 ha				€ 95.065 mln.

S3DE2020 heeft een nog groter aandeel windenergie en moet daardoor meer gebruik maken van zonne-energie, waardoor dit scenario nog eens ruim €16 miljard goedkoper wordt (zie Tabel 4). Wel zorgt dit ervoor dat het gebied wat gereserveerd moet worden voor het behalen van deze duurzame energiedoelstelling met nog eens 98km² moet worden vergroot.

De overheid heeft in de publicatie “Windparken op land” uit 2014 laten weten dat er 3500MW extra windenergie op land moet worden gewonnen om in 2020 voor 14% te voorzien in onze duurzame energiebehoefte, dit staat gelijk aan ongeveer 110PJ per jaar. Scenario 1 komt hier het dichtst bij in de buurt. Het verschil met de duurzame energiescenario’s van de Nederlandse overheid en de scenario’s die in deze thesis besproken zijn is dat het Kabinet plannen heeft om meer verschillende soorten duurzame energie toe te gaan passen om de doelstelling in 2020 te behalen, waaronder bijvoorbeeld windenergie op zee en aardwarmte. 33676

MULTICRITERIA-ANALYSE

Nu er gegevens bekend zijn over de verschillende scenario's, kan er worden onderzocht of er voldoende ruimte beschikbaar is in Nederland en of dit dus haalbare scenario's zijn. Voordat er uitspraken gedaan kunnen worden over de beschikbare hoeveelheid grond voor wind- en zonne-energie zal er eerst moeten worden gedefinieerd wat geschikte grond is. Zoals in de introductie al kort aangestipt werd is deze analyse gedaan in een GIS (Geographic Information System), namelijk ArcMap. Om te bepalen of een gebied geschikt is voor wind- of zonne-energie moet er met meerdere factoren rekening worden gehouden. Omdat dit voor beide typen energie andere factoren zijn, zijn er logischerwijs twee verschillende kaarten gemaakt die laten zien welke gebieden geschikt en minder geschikt zijn voor het plaatsen van een windmolenpark of een zonnepaneelveld.

De criteria van de geschiktheidskaart voor windkracht op land in Nederland zijn als volgt: (1) *gemiddelde jaarlijkse windsnelheid*⁸ in m/s, (2) *afstand tot panden met een woonfunctie*⁹ in m en (3) *beschermd natuurgebied*¹⁰ ja/nee. Het eerste criterium is voor het grootste deel bepalend voor de rendabiliteit van windkracht: hoe harder gemiddelde jaarlijkse windsnelheid in een gebied is, hoe hoger de jaarlijkse energieopbrengst van een windturbine. Dit is een van de redenen dat de huidige plannen voor windkracht op land vrijwel allemaal kustgebieden betreffen. Het tweede criterium verzorgt meer dan het eerste criteria het sociale gedeelte van deze kwestie. Maatschappelijke acceptatie van een windmolenpark zal hoger zijn wanneer deze relatief uit het zicht zal worden geplaatst. Het derde criterium dekt de natuurbelangen in Nederland en indirect dus ook veel maatschappelijke belangen. Een gebied wordt niet zozeer geschikter voor windenergie naarmate hij verder van een beschermd natuurgebied komt te liggen, vandaar dat binnen dit criterium het enige belangrijke gegeven is welke gebieden beschermd zijn en welke niet.

⁸ Gebaseerd op data van het KNMI (2002).

⁹ Gebaseerd op data van de BAG (2012).

¹⁰ Gebaseerd op data van de European Environment Agency (EEA) (Natura 2000).

Vervolgens zijn de waarden die elk van deze drie criteria kunnen hebben uitgezet in klassen van 1 t/m 5. Tijdens het indelen van deze klassen is zoveel mogelijk geprobeerd de klassen aan te houden zoals ze ook in de oorspronkelijke data waren gedefinieerd. Echter moesten enkele criteria al logisch beredenerend worden ingedeeld. Hierin zit onzekerheid.

Tabel 5: (1) Gemiddelde jaarlijkse windsnelheid in m/s

Waarde	Klasse
7.5 - 7.0	5
7.0 - 6.5	4
6.5 - 5.5	3
5.5 - 4.5	2
4.5 - 3.5	1

Tabel 6: (2) Afstand tot panden met een woonfunctie in m

Waarde	Klasse
500 >	5
350 - 500	4
200 - 350	3
50 - 200	2
0 - 50	1

Tabel 7: (3) Beschermd natuurgebied ja of nee

Waarde	Klasse
ja	1
nee	5

Wanneer elk van deze waarden ingedeeld zijn in klassen is er voor ieder criterium een kaart. Deze drie kaarten kunnen vervolgens middels een weging bij elkaar opgeteld worden aangezien het ene criteria belangrijker is voor de geschiktheid van een gebied voor een windmolenpark dan de ander. Deze weging is als volgt in de berekening opgenomen: (1) ontving een weging van 0.5, (2) ontving een weging van 0.2 en (3) ontving een weging van 0.3.

Dit is gedaan om de volgende redenen: de gemiddelde jaarlijkse windsnelheid is enorm belangrijk voor het rendement van een windmolenpark. Dit is terug te zien in de huidige plannen van de Nederlandse overheid, daarom is er voor gekozen om dit voor de helft deel uit te laten maken van de criteria. De afstand tot panden met een woonfunctie is in zekere zin belangrijk, maar een aantal huizen in de buurt zouden de komst van een windmolenpark niet moeten kunnen hinderen, vandaar het relatief lage aandeel van 0.2. Beschermde natuurgebieden zijn in Nederland van groot belang, gezien de hoge bevolkingsdichtheid. Een natuurgebied vormt om deze reden een groter obstakel dan een pand met woonfunctie en krijgt hierdoor een weging van 0.3.

Dan de criteria van de geschiktheidskaart voor zonnepaneelvelden: (4) *gemiddelde jaarlijkse instraling*¹¹ in kWh/m², (2) *afstand tot panden met een woonfunctie* in m en (3) *beschermd natuurgebied* ja/nee. Vergeleken met de geschiktheidskaart voor windenergie op land is hier een criterium verwisseld, criterium (4). De reden hiervoor is dat ook de gemiddelde jaarlijkse instraling belangrijk is voor het plaatsen van een zonnepaneelveld aangezien deze instraling over de ruimte verdeeld is. Limburg ontvangt bijvoorbeeld 8% minder instraling van de zon dan Texel (Europese Commissie, 2008). De andere criteria (2) en (3) dekken de geschiktheid van een gebied op maatschappelijk vlak. Het is dus belangrijk om deze twee criteria in beide kaarten naar voren te laten komen.

Ook bij deze kaart is er voor gekozen om de waarden van de criteria in vijf klassen in te delen. Aangezien deze kaart twee criteria bevat die ook in de vorige kaart naar voren kwamen zal alleen criterium (4) in een tabel uitgezet worden. Criterium (2) en (3) zijn in deze kaart immers hetzelfde gedefinieerd.

Tabel 8: (4) Gemiddelde jaarlijkse instraling van de zon in kWh/m²

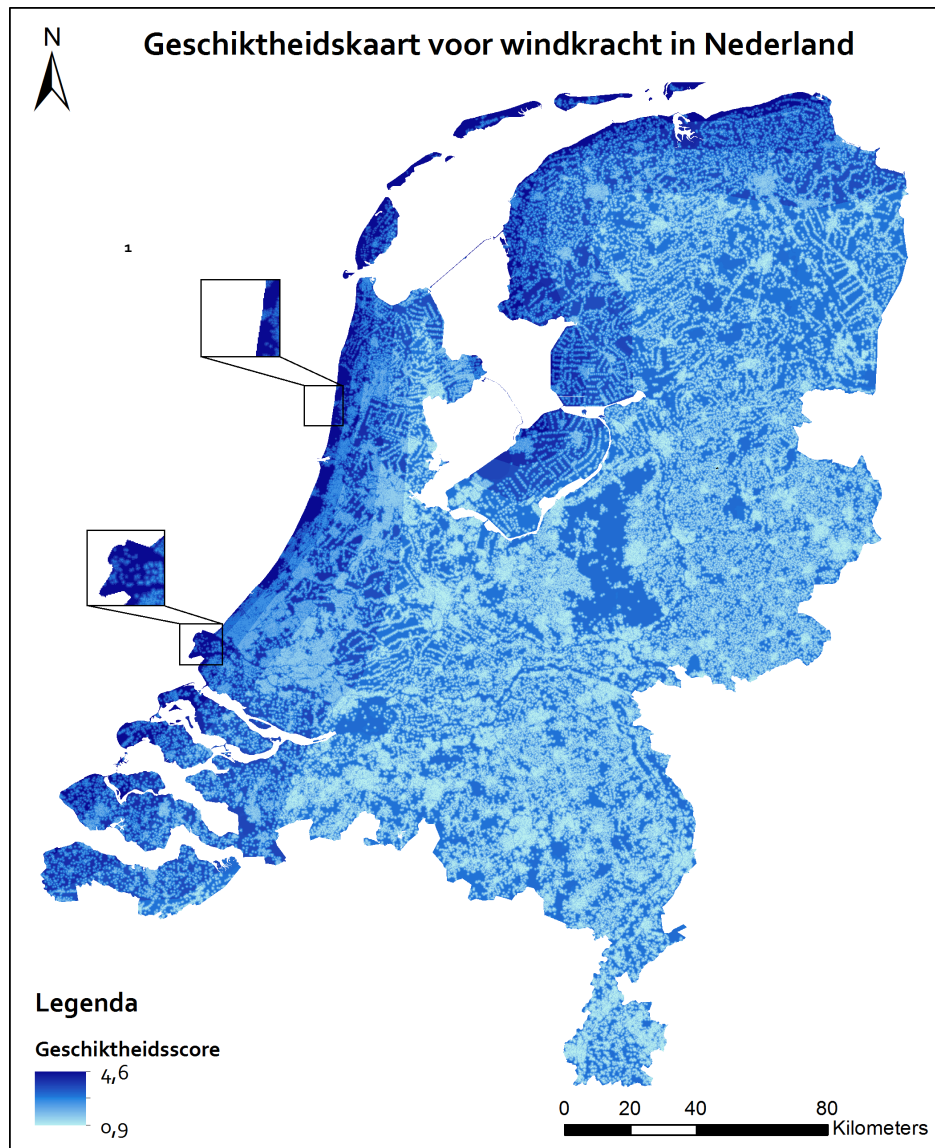
Waarde	Klasse
1200 - 1175	5
1175 - 1150	4
1150 - 1125	3
1125 - 1100	2
< 1100	1

¹¹ Gebaseerd op data van de Europese Commissie (2008).

Ook voor deze geschiktheidskaart zijn de drie afzonderlijke kaarten bij elkaar opgeteld middels een weging. Bij de criteria voor zonne-energie geldt immers ook dat het ene criterium belangrijker is voor het bepalen van de geschiktheid van een gebied dan de ander, al geldt dat hier minder sterk dan bij windenergie zal blijken. De weging ziet er als volgt uit: (4) ontving een weging van 0.3, (2) een weging van 0.3 en (3) een weging van 0.4. Hier zit de volgende argumentatie achter: de gemiddelde jaarlijkse instraling van de zon in Nederland verschilt in de ruimte; het verschil in instraling is echter niet zo groot dat wanneer er veel ruimte beschikbaar is in een gebied waar bijvoorbeeld 1125 kWh/m² aan straling valt dat er dan besloten wordt om er geen zonnepaneelveld aan te leggen. Het verschil tussen de laagste waarde en de hoogste waarde is voor de instraling van de zon ongeveer 12% waar dat voor de gemiddelde windsnelheid 53% is. Het speelt dus een kleinere rol in de algehele geschiktheid dan criterium (1). De andere criteria, (2) en (3) komen nog steeds in dezelfde verhouding ten opzichte van elkaar voor, alleen hebben zij nu een hogere weging omdat de weging van (4) lager is.

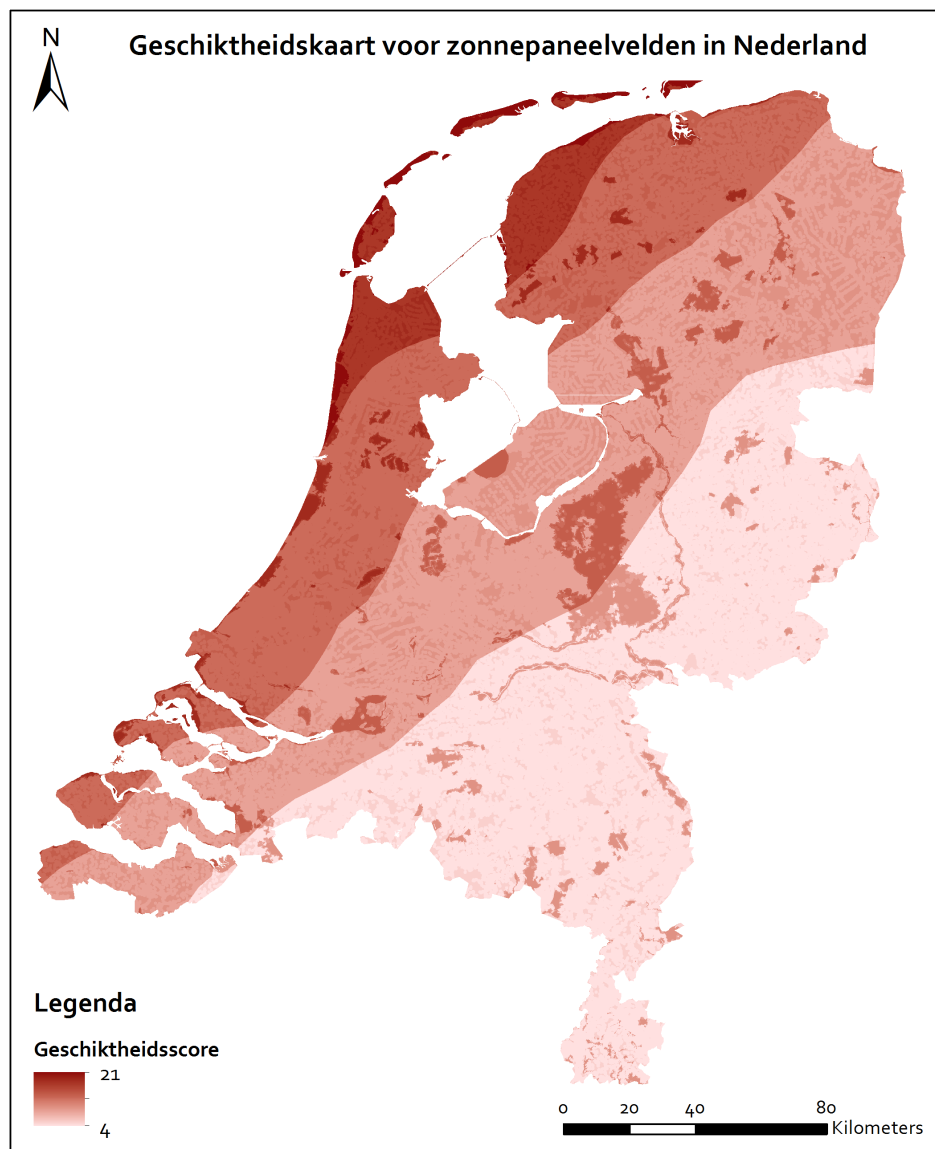
RUIMTEVRAAG

Nu de Multicriteria-analyse is uitgevoerd is de mogelijkheid ontstaan om de beschikbare ruimte voor wind- en zonne-energie te berekenen. Deze hoeveelheid beschikbare ruimte hangt echter voor een zeer groot deel af van wanneer een gebied bestempeld wordt als 'zeer geschikt' voor een windmolenpark of een zonnepaneelveld. Dit moet worden bepaald door de overheid als ook door de bedrijven die deze hernieuwbare energiefaciliteiten aan zullen gaan leggen. Voor het gemak is er in deze thesis vanuit gegaan dat men een geschiktheidsscore welke zich in de hoogste 10% bevindt acceptabel genoeg zal vinden voor de aanleg van een windturbinepark of een zonnepaneelveld. De 'geschikte' gebieden zijn gevonden aan de hand van Figuur 1 en 2.



Figuur 1: Geschiktheidskaart voor windkracht op land in Nederland

In het onderdeel waar de duurzame energiescenario's werden besproken werd gaandeweg duidelijk dat er aardig veel grond nodig is om in 2020 14% van onze energievoorziening hernieuwbaar te laten zijn. Voor windenergie is er, wanneer er wordt uitgegaan van een drempelwaarde van 10%, ongeveer 476 km² beschikbaar. In de bovenstaande kaart zijn al een tweetal mogelijke locaties aangegeven: (1) de omgeving van Egmond-Binnen en (2) de haven van Rotterdam. Verspreid langs te kust zijn nog meer locaties te vinden die hoog scoren, zoals de Waddeneilanden, het gebied ten noorden van Lelystad en het Groningse kustgebied. Terugblikkend op de duurzame energiescenario's was er echter minstens 1671 km² nodig om tenminste 50% van de duurzame energiedoelstelling te behalen door middel van windenergie op land.



Figuur 2: Geschiktheidskaart voor zonnepaneelvelden in Nederland

Wanneer er vastgehouden zou worden aan de drempelwaarde van 10% kan een percentage van 14% windenergie op land behaald worden in verhouding tot de totale extra hernieuwbare energiebehoefte. Helaas is deze drempelwaarde enigszins arbitrair; de keuze tot het aanleggen van een windmolenpark of zonnepaneelveld wordt immers niet op een vast percentage gezet in de praktijk. Dit hangt onder meer af van de vraag naar duurzame energie en het beschikbare budget voor dergelijke investeringen. Wanneer er bijvoorbeeld zou worden gekozen om een geschiktheidsscore te accepteren die in de hoogste 25% zit, zou er 1912 km² in aanmerking komen voor windenergie op land; dit zou dan voldoende zijn voor *SIDE2020*.

Voor wat betreft de geschiktheidskaart voor de zonnepaneelvelden zijn er ook een aantal zeer geschikte locaties aan te wijzen. Deze locaties zijn echter veelal hetzelfde als bij de geschiktheidskaart voor windenergie op land. Dit is voor een groot deel te wijten aan de lage populatie in deze gebieden, er komen haast geen panden voor die een woonfunctie hebben. Nog een belangrijk punt is dat er zeer goed moet worden opgelet dat er niet te vaak dezelfde locaties worden aangewezen, al is het overigens vrij goed mogelijk om zonne-energie en windenergie op dezelfde locatie op te wekken. Wanneer we de drempelwaarde van 10% aan zouden houden voor de aanleg van zonnepaneelvelden komt er een gebied in aanmerking ter grootte van Vlieland van zo'n 327 km². Gekeken naar *S3DE2020*, waarin slechts 10% van de benodigde hoeveelheid hernieuwbare energie richting 2020 wordt behaald door middel van zonne-energie, is daar ongeveer 335 km² voor nodig, net niet voldoende dus maar niet geheel onacceptabel. Wanneer men vast wil houden aan het energiescenario wat het minste ruimte in neemt, *SIDE2020*, dan zal de drempelwaarde van 10% ruimer moeten worden genomen. Als men er voor zou kiezen om een drempelwaarde van 25% te accepteren zou er spontaan een gebied in aanmerking komen van 4645 km², zo'n 12% van het Nederlandse grondgebied.

Gebleken is dat de uitkomst van de analyse sterk afhankelijk zijn van de criteria, aannames en drempelwaarden. Er kan dus niet met zekerheid gesteld worden wat het meest haalbare scenario is omdat er veel kritieke variabelen missen wat veel onzekerheid veroorzaakt. Wel kan er gesteld worden dat *SIDE2020* het meest haalbare scenario is, mits de drempelwaarde van 10%

wordt bijgesteld naar 25%. Ook kan er voor worden gekozen om deze arbitraire drempelwaarden te behouden, wind- en zonne-energie voor respectievelijk 14% en 11% deel uit te laten maken van de doelstelling en de overige 75% zien te bewerkstelligen door middel van andere vormen van hernieuwbare energie zoals biomassa (in minder dichtbevolkte delen van Nederland waar de ruimtevrage kleiner is), aardwarmte of windkracht op zee.

3. DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN

De relevantie van duurzame energie in de maatschappij is groter dan ooit. De Europese Unie formuleerde in 2004 voor alle EU-28 lidstaten een doel wat zij mochten aanvaarden. Aan Nederland is toentertijd een voorstel gedaan om er voor te zorgen dat onze energievoorziening tegen 2020 voor 14% uit hernieuwbare energie bestaat.

Gaandeweg is er in de thesis getracht een antwoord te vinden op een aantal vragen. Vragen als *“Wat zijn potentiële oorzaken van Nederlands relatief lage percentage opgewekte hernieuwbare energie?”*. Door het stellen van deze vraag werd het duidelijk hoe onder andere de Nederlandse politiek en haar bedrijven in deze kwestie staan. Ook kon er aan de hand van deze vraag een reëler beeld van de toekomst geschetst worden omdat deze energiedoelstelling van 14% gezien moeilijker te bewerkstelligen zal worden dan voorheen gedacht werd vanwege onder meer de goedkope fossiele opties die Nederland heeft.

Ook vragen als *“Hoeveel extra energie moet er worden opgewekt uit hernieuwbare energiebronnen om te voldoen aan de 14%-doelstelling?”* zorgde er voor dat de doelstelling voor 2020 tastbaarder werd. De abstracte 14% werd hier gekwantificeerd en werd er een beredeneerde aanname gemaakt dat Nederland niet minder fossiele energie zal gaan produceren en dus haar doelstelling zal moeten behalen door meer hernieuwbare energiefaciliteiten te ontwikkelen. Of dit daadwerkelijk op deze manier gaat gebeuren is onduidelijk. Zeer waarschijnlijk zal het een combinatie van beide worden: een verlaagde productie van fossiele energie in combinatie met een verhoogde productie van hernieuwbare energie.

De volgende deelvraag die bijdroeg aan de uiteindelijke beantwoording van de hoofdvraag besprak welke vormen van duurzame energie het meest voor de hand liggen om te gebruiken voor het behalen van de energiedoelstelling. Ook werd hier gekeken naar hoe de extra energiebehoefte mogelijk ingevuld kon worden. Er zijn scenario's opgezet met elk twee verschillende vormen van duurzame energie, wind- en zonne-energie. Dit is gedaan met in gedachte dat de Nederlandse overheid waarschijnlijk meer vormen van hernieuwbare energie zal gaan gebruiken als biomassa, aardwarmte en windkracht op zee. Om de

hoeveelheid stroom die deze vormen van duurzame energie genereren in een rekenmodel te kunnen verwerken is besloten om de aanname te doen de gemiddelde energieopbrengst van de energiefaciliteiten niet over ruimte en tijd verschillen. In de praktijk is het echter zo dat een zonnepaneel of een windturbine in Limburg een andere opbrengst heeft dan op bijvoorbeeld Texel. Voor het gemak zijn deze opbrengsten voor constant aangenomen.

Het volgende onderdeel in de scriptie is een ruimtelijke analyse. Door middel van het gebruik van een GIS werd getracht een antwoord te vinden op de volgende deelvraag: *“Uitgaande van de scenario’s die in het antwoord op de vorige deelvraag opgesteld zijn, welk scenario is het meest haalbaar en welke locaties zijn het meest geschikt voor het behalen van de duurzame energiedoelstelling voor 2020?”* Middels het onderzoeken van deze deelvraag werd het ook, niet alleen in termen van kosten, helder hoeveel ruimte deze energiedoelstelling van Nederland zou gaan vragen. In deze analyse zijn een drietal criteria gebruikt voor elke vorm van duurzame energie om er zo achter te komen welke locatie het meest ‘geschikt’ is voor het bouwen van zonnepaneelvelden en windturbines op land. De term geschikt is natuurlijk voor iedereen anders en daarom moest dit begrip gedefinieerd worden. Er werden klassen gemaakt op basis van aannames en de oorspronkelijke data zodat er een naam kon worden gegeven aan de hoogste waarden, ‘geschikt’.

Al met al is er een helder antwoord geformuleerd dat ook de variabelen goed weergeeft. Veel van de uitkomsten in dit onderzoek hangen af van criteria en drempelwaarden die beleidsmakers, bedrijven en onderzoeksinstellingen instellen. Dit maakt de uitkomsten lichtelijk arbitrair. Dit onderzoek tracht echter vooral een beter inzicht te geven in deze kwestie zodat de zeker- en onzekerheden beter in kaart gebracht kunnen worden. Ook kan de lezer van deze scriptie beter inzien wat de financiële- en ruimtelijke gevolgen zijn van investeren in hernieuwbare energie.

4. CONCLUSIES

Door het gehele onderzoek is er een rode draad aanwezig geweest in elk van de deelvragen die in de conclusie naar boven komt. Deze rode draad kan gezien worden als de hoofdvraag die dit onderzoek leidde. Deze vraag luidde als volgt: *“Wat is de haalbaarheid van de hernieuwbare energie doelstellingen die Nederland in 2004 heeft aanvaard en hoe kan deze doelstelling behaald worden voor 2020?”* Om tot een volledig antwoord te komen moesten er eerst antwoorden gevonden worden op een viertal deelvragen, in deze conclusie zal getracht worden deze antwoorden kort en bondig te formuleren.

De eerste deelvraag luidde als volgt: *“Wat zijn potentiële oorzaken van Nederlands relatief lage percentage opgewekte hernieuwbare energie?”* Gaandeweg werd het duidelijk dat Nederland sterk geworteld is in de fossiele industrie. Het Nederlandse energiebeleid wordt bijvoorbeeld in zekere mate beïnvloedt door bedrijven en kennisinstituten uit de gasindustrie. Daarnaast is de gasvoorraad in Groningen goed voor de staatskas wat de prikkel om te investeren in hernieuwbare methoden van gaswinning doet verminderen. Ook de relatief hoge werkgelegenheid in de gasector draagt mogelijk bij aan het fossiele karakter van het Nederlandse energiebeleid. Geografisch gezien heeft Nederland niet bepaald veel voordeel voor wat betreft het opwekken van hernieuwbare energie. Opvallend is namelijk dat bergachtige landen over het algemeen meer hernieuwbare energie produceren dan relatief vlakke landen als Nederland en Groot-Brittannië. Mogelijk komt dit doordat deze vlakke landen de meest efficiënte vorm van duurzame energie in veel mindere mate kunnen toepassen, waterkracht.

Vervolgens werd er in deze thesis onderzoek gedaan naar hoeveel extra hernieuwbare energie Nederland zou moeten gaan produceren om te voldoen aan hun energiedoelstelling, onder de aanname dat Nederland niet minder fossiele energie zal gaan produceren en dat het Nederlandse energieverbruik constant blijft. De deelvraag die dit onderdeel leidde was: *“Hoeveel extra energie moet er worden opgewekt uit hernieuwbare energiebronnen om te voldoen aan de 14%-doelstelling?”* Hier is tot de conclusie gekomen dat er jaarlijks 369PJ (Peta joule)

aan extra hernieuwbare energie zal moeten worden geproduceerd om tegen 2020 509PJ per jaar op te wekken, wat 14% van de totale energieproductie zal zijn.

Het derde onderdeel van deze thesis ging in op hoe de hoeveelheid energie die in antwoord op de vorige deelvraag was gevonden kon worden ingevuld onder leiding van de volgende deelvraag: *“Welke vormen van hernieuwbare energie zijn het meest geschikt voor het behalen van de hernieuwbare energiedoelstelling, en hoe kan Nederland de extra benodigde hoeveelheid energie tot 2020 invullen?”* Dit werd onderzocht door drie scenario's op te stellen welke onderling verschilden in het aandeel wind- en zonne-energie. Deze vormen van energie hebben verschillende eigenschappen en verschillen dus ook in kosten en de ruimte die ze innemen. Het goedkoopste alternatief, genaamd *S3DE2020*, bestaat uit een verhouding van 10% zonne-energie en 90% windenergie, dit alternatief neemt echter wel het meeste ruimte in. Met het oog op ruimtebesparing zou dan beter voor *S1DE2020* gekozen kunnen worden, deze is echter wel het duurst. Naast deze twee scenario's kan er nog worden gekozen voor een tussenalternatief, *S2DE2020*, mocht er bijvoorbeeld niet genoeg geld of ruimte beschikbaar zijn voor respectievelijk *S1DE2020* of *S3DE2020*.

De laatste deelvraag die uiteindelijk leidde tot de beantwoording van de hoofdvraag: *“Uitgaande van de scenario's die in het antwoord op de vorige deelvraag opgesteld zijn, welk scenario is het meest haalbaar en welke locaties zijn het meest geschikt voor het behalen van de duurzame energiedoelstelling voor 2020?”* ging voornamelijk in op het ruimteprobleem wat in de inleiding van de thesis aan de orde gebracht werd. Er is een Multicriteria-analyse uitgevoerd onder leiding van drie criteria per type duurzame energie. Beide analyses vonden min of meer dezelfde locaties, voornamelijk locaties aan de kust vanwege het weinig bevolkte karakter in die gebieden, de relatief sterke winden en hogere gemiddelde jaarlijkse instraling van de zon vergeleken met het binnenland. Ook werd in dit onderdeel duidelijk dat de uitkomsten zeer afhankelijk zijn van de criteria en wat de definitie van een 'geschikt' gebied is voor een bepaalde vorm van duurzame energie. Het meeste haalbare scenario, gebaseerd op een arbitraire drempelwaarde, is *S1DE2020* waar er voor 50% gebruik gemaakt wordt van zonne-energie en voor 50% van windenergie op land. Dit kan echter alleen bewerkstelligd worden wanneer bedrijven,

overheid en andere stakeholders besluiten in deze energiefaciliteiten te investeren wanneer een gebied met een geschiktheidsscore in de bovenste 25% als geschikt wordt beschouwd. Een drempelwaarde van 10% zou elk scenario onhaalbaar maken. Een andere conclusie is dat met de drempelwaarde van 10% er nog steeds wind- en zonne-energie kan worden gewonnen, alleen een stuk minder. Bij deze drempelwaarde zou slechts 14% van de 369PJ behaald kunnen worden door middel van windenergie op land, en 11% door middel van zonne-energie. Voor de overige 75% zouden dan andere vormen van hernieuwbare energie gebruikt kunnen worden zoals aardwarmte of windenergie op land.

14% duurzame energie lijkt dus haalbaar. Dit is echter onder de voorwaarde dat een gebied al relatief snel als 'geschikt' wordt ervaren. Daarnaast moeten ook de conclusies uit de eerste deelvraag in rekening worden genomen. Nederland staat momenteel nog sterk in de greep van fossiele belangen en zal ook op politiek gebied nog heel wat stappen moeten verrichten om een doorstart te kunnen maken naar een maatschappij die volledig onafhankelijk is van fossiele brandstoffen. Op de korte termijn zullen deze belangen geen groot obstakel vormen, het probleem zit hem in de lange termijn, zoals al hele tijd bekend is bij het klimaatprobleem. Wie gaat ons af helpen van deze fossiele verslaving?

5. REFERENTIES

- 21ENERGIE,. (2012). Fossiele lobby: “extra energieheffing dreigt”. Retrieved 19 May 2014, from <http://21energie.nl/2012/10/03/fossiele-lobby-extra-energieheffing-dreigt/>
- Aardgas in Nederland,. (2014). Aardgasbaten en economie. Retrieved 21 May 2014, from <http://aardgas-in-nederland.nl/nederland-aardgasland/aardgas-en-de-economie/>
- Boer, J. (2014). Miljarden subsidie voor fossiele energie. *Leefbarewereld*. Retrieved 19 May 2014, from http://www.leefbarewereld.nl/energie/miljarden_subsidie_voor_fossiele_energie
- de Blois, F. et al. (2013). PBL. *Nederland verbeeld: een andere blik op vraagstukken rond de leefomgeving*. 1st ed. p.45.
- Corselli-Nordblad, L. (2014). Renewable energy in the EU28: Share of renewables in energy consumption up to 14% in 2012. *Eurostat*. Retrieved 18 April 2014, from http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_PUBLIC/8-10032014-AP/EN/8-10032014-AP-EN.PDF
- Cbs.nl,. (2003). Duurzame energie in Nederland 2003. Retrieved 21 May 2014, from <http://www.cbs.nl/NR/rdonlyres/EB491A84-7C10-4744-AF6C-B7861870F51A/0/duurzameenergieinnederland2003.pdf>
- Cbs.nl,. (2014). Nederlandse energiehuishouding (NEH). Retrieved 5 June 2014, from <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/industrie-energie/methoden/dataverzameling/korte-onderzoeksbeschrijvingen/nederlandse-energiehuish-ob.htm>
- Compendiumvoordeleefomgeving.nl,. (2014). Energiebalans Nederland (stroomdiagram). Retrieved 6 June 2014, from [http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0201-Energiebalans-Nederland-\(stroomdiagram\).html?i=6-40](http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0201-Energiebalans-Nederland-(stroomdiagram).html?i=6-40)
- Darwinkel, A., & Borm, G. (2002). Teelt van biomassa niet rendabel. *Edepot.wur.nl*. Retrieved 11 June 2014, from <http://edepot.wur.nl/214707>
- Desmet, P. (2014). Aldel en het failliet van het Nederlandse Energiebeleid - Energiebusiness. *Energiebusiness*. Retrieved 20 May 2014, from

- <http://www.energiebusiness.nl/2014/01/14/column-peter-desmet-aldel-en-het-failliet-van-het-nederlandse-energiebeleid/>
- E.ON,. (2003). Milieuvverslag 2003. Retrieved 18 May 2014, from <http://www.corporateregister.com/a10723/EonBen03-env-nt.pdf>
- Ecn.nl,. (2005) Monitoring Nederlandse elektriciteitscentrales 2000-2004. <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2005/c05090.pdf>. Retrieved 19 June 2014, from Ecn.nl
- Energieoverheid,. (2014). Elf locaties voor grote windmolenparken op land. Retrieved 21 May 2014, from <http://www.energieoverheid.nl/2014/04/01/elf-locaties-voor-grote-windmolenparken-op-land/>
- Energieleveranciers.nl,. (2014). Opbrengst zonnepanelen. Retrieved 6 June 2014, from <http://www.energieleveranciers.nl/zonnepanelen/opbrengst-zonnepanelen>
- Energieplus,. (2010). Goedkope financiering zonne-energie belangrijker dan subsidie. Retrieved 21 May 2014, from <http://www.energieplus.nl/nieuws/nieuws/goedkope-financiering-zonne-energie-belangrijker.93324.lynkx>
- Geothermie.nl,. (2014). Geothermie. Retrieved 5 June 2014, from <http://www.geothermie.nl/>
- Hamelinck, C. (2012). Renewable energy progress and biofuels sustainability. *Ec.europa.eu*. Retrieved 20 May 2014, from http://ec.europa.eu/energy/renewables/reports/doc/2013_renewable_energy_progress.pdf
- Heijboer, D., & Nellestijn, J. (2002). *Klimaataatlas van Nederland* (1st ed.). Rijswijk: Ekmar.
- Heilbron, B., Mommers, J., Muntz, T., & de Zeeuw, H. (2013). Nederland wordt dé fossiele energieleverancier van Europa. *De Groene Amsterdammer*. Retrieved 19 May 2014, from <http://blogs.groene.nl/masterclass/?p=176>
- Hekkenberg, M., & Lensink, S. M. (2013). 16% Hernieuwbare energie in 2020-Wanneer aanbesteden?. *Policy Studies*, 2012, 2011.
- IEA,. (2013). Nog zeker 50 jaar aardgas. Retrieved 21 May 2014, from <http://aardgas-update.nl/2013/04/nog-zeker-50-jaar-aardgas/>

- Juwi.com,. (2014). Waldpolenz Solar Park. Retrieved 8 June 2014, from http://www.juwi.com/solar_energy/references/details/waldpolenz_solar_park/-/2/1.html?tx_juwireferences_pi1
- Knmi.nl,. (2005). Gemiddelde jaarlijkse windsnelheid Nederland. Retrieved 8 June 2014, from <http://www.weer.nl/typo3temp/pics/2e4a9375ac.jpg>
- Masterresource.org,. (2014). Understanding the Spatial Dimension of the Unfolding Transition to Renewable Electricity Generation (Part IV – New Renewables Electricity Generation). Retrieved 8 June 2014, from <http://www.masterresource.org/2010/05/smil-density-new-renewables-iv/>
- Mpoweruk.com,. (2014). Hydroelectric Power Generation. Retrieved 3 June 2014, from http://www.mpoweruk.com/hydro_power.htm
- Milieudefensie,. (2014). Jongeren verlaten klimaatop uit protest tegen fossiele lobby. Retrieved 20 May 2014, from <https://milieudefensie.nl/schaliegas/nieuws/jongeren-verlaten-klimaatop-uit-protest-tegen-fossiele-lobby>
- Nwea.nl,. (2014). Windenergie opwekken, de feiten. Retrieved 10 June 2014, from <http://www.nwea.nl/windenergie-de-feiten>
- Nkpw.nl, (2012). *Shell: Offshore windparken niet rendabel*. [online] Available at: <http://www.nkpw.nl/index.php/archief/energieopbrengst/1691-1709-index-1550> [Accessed 1 Jul. 2014].
- Lako, P., & Beurskens, L. W. M. (2013). Windenergie op zee als onderdeel van de duurzame energiedoelstelling. *Policy Studies*, 2012, 2011.
- Ondernemerschap.nl,. (2012). Transportsector Nederland 2012. Retrieved 6 June 2014, from http://www.ondernemerschap.nl/index.cfm/3,147,369/ondernemerschap_rapporten_transport_2012.pdf
- Pittlik, W. (2014). Duitsland gaat subsidies duurzame energie korten. *Duitslandweb*. Retrieved 21 May 2014, from <http://www.duitslandweb.nl/actueel/uitgelicht/2014/1/duitsland-gaat-subsidies-duurzame-energie-korten.html>
- Rijksoverheid,. (2011). Jaarverslag 2011: Delfstoffen en aardwarmte in Nederland. Retrieved 19 May 2014, from <http://www.rijksoverheid.nl/bestanden/documenten->

en-publicaties/rapporten/2012/11/29/delfstoffen-en-aardwarmte-in-nederland-jaarverslag-2011/delfstoffen-en-aardwarmte-in-nederland-jaarverslag-2011.pdf

Rijksoverheid,. (2012). Voortgangsrapportage: Energie uit hernieuwbare bronnen in Nederland 2011-2012. Retrieved 21 May 2014, from <http://www.rijksoverheid.nl/bestanden/documenten-en-publicaties/rapporten/2014/01/20/voortgangsrapportage-energie-uit-hernieuwbare-bronnen-in-nederland-2011-2012-richtlijn-2009-28-eg/voortgangsrapportage-energie-uit-hernieuwbare-bronnen-in-nederland-2011-2012-richtlijn-2009-28-eg.pdf>

Rijksoverheid,. (2013). Rapportage 2013 | Prognose hernieuwbare energie. Retrieved 19 May 2014, from <https://www.duurzameenergie.org/duurzameenergie.org/data/rapportage-2013-prognose-hernieuwbare-energie.pdf>

Rijksoverheid,. (2014). Duurzame energie. Retrieved 21 May 2014, from <http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-energie>

Rijksoverheid.nl,. (2014). Bijlage 3 plan MER structuurvisie windenergie op land. Retrieved 9 June 2014, from <http://www.rijksoverheid.nl/bestanden/documenten-en-publicaties/rapporten/2014/03/31/bijlage-3-plan-mer-structuurvisie-windenergie-op-land/bijlage-3-plan-mer-structuurvisie-windenergie-op-land.pdf>

Rijksoverheid.nl,. (2014). Bijlage 4 passende beoordeling structuurvisie windenergie op land. Retrieved 12 June 2014, from <http://www.rijksoverheid.nl/bestanden/documenten-en-publicaties/rapporten/2014/03/31/bijlage-4-passende-beoordeling-structuurvisie-windenergie-op-land/bijlage-4-passende-beoordeling-structuurvisie-windenergie-op-land.pdf>

Rijksoverheid.nl,. (2014). Bio-energie. Retrieved 14 June 2014, from <http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-energie/bio-energie>

Rijksoverheid.nl,. (2014). Structuurvisie windenergie op land. Retrieved 4 June 2014, from <http://www.rijksoverheid.nl/bestanden/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2014/03/31/structuurvisie-windenergie-op-land/structuurvisie-windenergie-op-land.pdf>

Rijksoverheid.nl,. (2014). Windparken op land | Kaart |. Retrieved 9 June 2014, from <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/kaarten/2014/03/31/windparken-op-land.html>

RVO,. (2014). Richtlijn 2009/28/EG van het Europees parlement en de Raad. Retrieved 21 May 2014, from

<http://www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/Richtlijn%202009-28-EG-%20energie%20uit%20hernieuwbare%20bronnen%20NL.pdf>

RVO,. (2014). Stimulering Duurzame Energieproductie (SDE). Retrieved 21 May 2014, from <http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/stimulering-duurzame-energieproductie-sde>

RVO,. (2014). Kosten en baten windpark op land. Retrieved 9 June 2014, from <http://www.rvo.nl/sites/default/files/2013/09/kosten%20en%20baten%20windpark%20op%20land.pdf>

Segers, R. (2013). Aandeel hernieuwbare energie vrijwel gelijk gebleven. *CBS*. Retrieved 20 May 2014, from <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/industrie-energie/publicaties/artikelen/archief/2013/2013-3827-wm.htm>

Simons, W. (2013). Biomassa dé duurzame energiebron van Nederland. *Energiebusiness*. Retrieved 20 May 2014, from http://www.energiebusiness.nl/2013/05/07/biomassa-de-duurzame-energiebron-van-nederland/?doing_wp_cron=1400591040.0119569301605224609375

SolarGIS,. (2014). SolarGIS Irradiation Map of Europe. Retrieved 8 June 2014, from <http://www.greenrhinoenergy.com/solar/radiation/images/SolarGIS-Solar-map-Europe-en.jpg>

Solarwijzer,. (2014). Rendement zonnepanelen. Retrieved 7 June 2014, from <http://www.solarwijzer.nl/zonnepanelen/rendement>

Sun4ever.info,. (2012). Gemiddelde jaarlijkse instraling van de zon (kaart). Retrieved 8 June 2014, from http://www.sun4ever.info/attachments/Image/0_Foto_licensed/zonnekaart_Nederland.png

Technischweekblad.nl,. (2014). Energieserie deel 2: windturbines op land. Retrieved 7 June 2014, from <http://www.technischweekblad.nl/rubrieken/energieserie-1/kunnen-we-overschakelen-op-duurzame-energie-deel.126845.lynkx>

TNO,. (2013). TNO: burgers moeten Nederland van fossiele verslaving afhelfen - hetkanWel.nl. Retrieved 19 May 2014, from http://www.hetkanwel.net/2013/03/13/tno-burgers-moeten-nederland-van-fossiele-verslaving-afhelfen/?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+hetkanWel+%28hetkanWel%29

Wikimedia,. (2014). Topography map of Europe. Retrieved 4 June 2014, from

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/38/Europe_topography_map_en.png

Verbong, G., Selm, van, A., Knoppers, R., & Raven, R. (2001). *Een kwestie van lange adem: De geschiedenis van duurzame energie in Nederland* (1st ed.). Boxtel: Æneas.

van Rossum, M., & Swertz, O. (2010). De Nederlandse aardgaswinning. *CBS*. Retrieved 21 May 2014, from <http://www.cbs.nl/NR/rdonlyres/530257E9-294D-4B62-9F44-5299E497C472/0/2010p231p19art.pdf>

de Vries, H. J., & van Sambeek, E. J. W. (2013). Schatting van de kostenontwikkeling van offshore windenergie in Nederland en de benodigde Rijksbijdrage voor het behalen van 6.000 MW in 2020. *Policy Studies*, 2012, 2011.

VEMW,. (2014). Nederlands gasbeleid binnen een Europees beleidskader. Retrieved 19 May 2014, from <http://www.vemw.nl/en/Gas%20en%20WKK/Beleid%20en%20Toezicht/Specifiek%20Nederlands%20Beleid.aspx>

Wiki-solar.org,. (2013). Site footprints of solar parks on Wiki-Solar's database. Retrieved 5 June 2014, from <http://www.wiki-solar.org/map/sites/index.html?Waldpolenz?Pk60014?15?51.329,12.656>

Weterings, R., van Harmelen, T., Poliakov, E., Faaij, A., & Londo, M. (2013). Naar een toekomstbestendig energiesysteem voor Nederland. *TNO*. Retrieved 1 May 2014, from https://www.tno.nl/downloads/naar_toekomstbestendig_energiesysteem_nederland_tno_2013_r10325.pdf

Ybema, J., Kroon, P., Lange, de, T., & Ruijg, G. (1999). De bijdrage van duurzame energie in Nederland 2020. *Ecn.nl*. Retrieved 22 May 2014, from <http://www.ecn.nl/docs/library/report/1999/c99053.pdf?layout=pri&noframes=1>

