

De ruimtelijke effecten van de energietransitie in Noord-Holland

J. Gerdes
L.W.M. Beurskens

Oktober 2015
ECN-E--15-059



Verantwoording

Deze publicatie is opgesteld in opdracht van de Provincie Noord-Holland.
Het bijbehorende projectnummer van ECN is 5.3279.

“Hoewel de informatie in dit rapport afkomstig is van betrouwbare bronnen en de nodige zorgvuldigheid is betracht bij de totstandkoming daarvan kan ECN geen aansprakelijkheid aanvaarden jegens de gebruiker voor fouten, onnauwkeurigheden en/of omissies, ongeacht de oorzaak daarvan, en voor schade als gevolg daarvan. Gebruik van de informatie in het rapport en beslissingen van de gebruiker gebaseerd daarop zijn voor rekening en risico van de gebruiker. In geen enkel geval zijn ECN, zijn bestuurders, directeuren en/of medewerkers aansprakelijk ten aanzien van indirecte, immateriële of gevolgschade met inbegrip van gederfde winst of inkomsten en verlies van contracten of orders.”



Inhoudsopgave

1	Inleidende samenvatting	5
2	Het hernieuwbaar potentieel voor invulling van de energievraag in 2050	8
2.1	Beschikbare opties voor hernieuwbare energie en energiebesparing	10
2.2	Afweging besparing en hernieuwbaar	20
3	Het energiegebruik in 2050	21
3.1	Het energiegebruik in het basisjaar	21
3.2	Het energiegebruik in 2050 volgens twee scenario's	21
4	Ambitieniveaus voor hernieuwbare invulling van de energievraag	25
Bijlagen		
A.	Ruimtebeslag en potentieel van windenergie	27
B.	Achtergrond bij de kosten voor windenergie	29
	Begrippenlijst	30
	Referenties	31

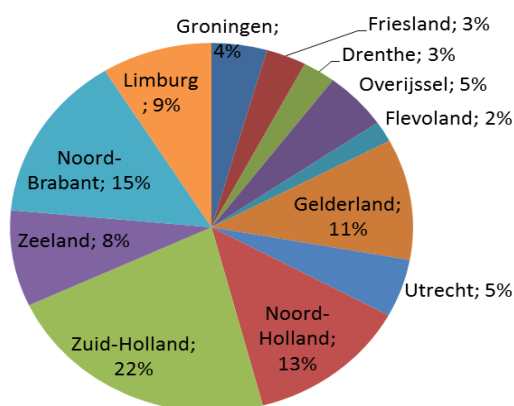
1

Inleidende samenvatting

Deze notitie beschrijft de verkenning van het toekomstig ruimtebeslag voor de opwekking van hernieuwbare energie binnen Noord-Holland. Het betreft hier de benodigde ruimte voor hernieuwbare energie bij een aantal verschillende ambitieniveaus voor de verduurzaming van de energievoorziening.

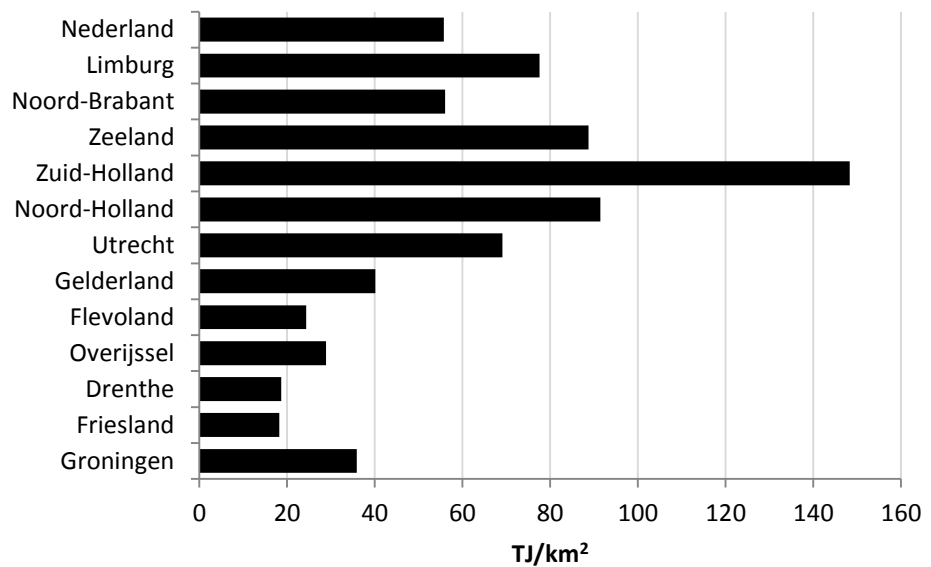
Het geheel verduurzamen van de energievoorziening is voor Noord-Holland een ambitieuzere (Lees lastiger te realiseren) doelstelling dan voor Nederland als geheel, omdat het energieverbruik per vierkante kilometer relatief hoog is. Binnen deze verkenning is gekeken naar het finaal energetisch verbruik, dat wil zeggen het verbruik van energie door de eindverbruikssectoren huishoudens, industrie, landbouw, diensten en transport, en niet om de energie die in elektriciteitscentrales wordt ingezet. Het getoonde verbruik van elektriciteit en steenkool betreft dus verbruik in de genoemde eindgebruikssectoren. Het aandeel energieverbruik van de provincie Noord-Holland in het nationaal energiegebruik in 2011 was 13% en het landoppervlak van Noord-Holland bedraagt 8% van het totale Nederlandse oppervlak. Hierdoor heeft Noord-Holland het hoogste energieverbruik per km² van alle Nederlandse provincies afgezien van Zuid-Holland (Figuur 2).

Figuur 1: Aandeel energetisch verbruik in eindgebruikssectoren per provincie in 2011



Bron: Klimaatmonitor

Figuur 2: Finaal energetisch verbruik per km² in 2011



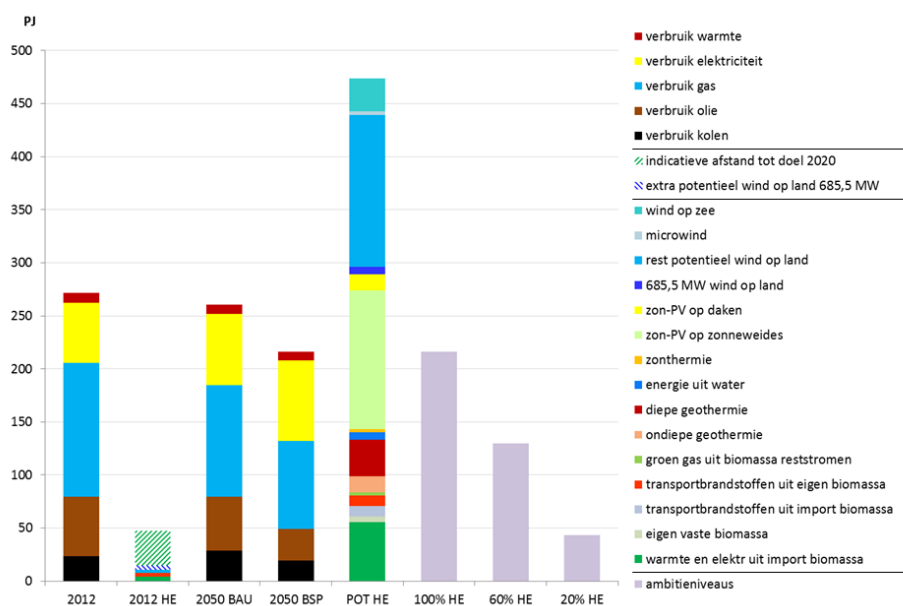
Bron: Klimaatmonitor, CBS

Het aandeel opgewekte hernieuwbare energie in Noord-Holland in 2012 was lager dan gemiddeld voor Nederland, namelijk naar schatting 3,8% terwijl het gemiddelde voor Nederland 4,5% was (CBS.)

Binnen deze verkenning is als eerste in kaart gebracht hoeveel hernieuwbare energie in Noord-Holland kan worden opgewekt binnen de ruimte die voor de verschillende vormen van hernieuwbare energie beschikbaar is. Daarbij is alleen rekening gehouden met harde randvoorwaarden om tot het maximaal potentieel te komen. Ook is gekeken naar de mogelijkheid om hernieuwbare energie te importeren in de vorm van biomassa. De import van hernieuwbare elektriciteit is niet meegenomen omdat het potentieel voor hernieuwbare elektriciteit binnen de provincie groot is en omdat het aandeel van het elektriciteitsverbruik dat Nederland kan importeren door de capaciteit van internationale netwerkverbindingen beperkt is tot een paar procent.

Als tweede is het energieverbruik in 2050 op twee manieren geraamd: bij een voortzetting van het op dit moment vaststaand en voorgenomen beleid, en bij ambitieuze energiebesparingsmaatregelen. Ten derde zijn drie ambitieniveaus voor de verduurzaming geformuleerd. De resultaten van deze verkenning zijn samengevat weergegeven in Figuur 3.

Figuur 3: Het energieverbruik door eindgebruikssectoren en de hoeveelheid hernieuwbare energie (HE) in 2012, energieverbruik in 2050 bij nu voorgenomen beleid (BAU), verbruik in 2050 bij hoge energiebesparing (BSP), het potentieel voor hernieuwbare energie in Noord-Holland (POT HE) en drie ambitieniveaus voor verduurzaming: 100%, 60% en 20% van het finaal energetisch verbruik in 2050 bij hoge besparing.



Het bepalen van een voorkeursambitieniveau zal in een later stadium plaatsvinden. Daarbij zullen verschillende aanvullende randvoorwaarden voor de ruimtelijke inpassing van hernieuwbare energie worden meegenomen. De maximale hoeveelheid hernieuwbare energie die in Noord-Holland kan worden opgewekt zal daardoor afnemen wat gevolgen kan hebben voor de haalbaarheid van het ambitieniveau.

De potentiëlen die in deze notitie worden beschreven zijn gebaseerd op maximaal haalbare realisaties in het jaar 2050, daarbij voornamelijk ingeperkt door de ruimtelijke randvoorwaarden. Er wordt gerapporteerd voor de volgende technieken: windenergie, zonne-energie (PV en warmte), bio-energie en geothermie. Een aspect dat niet als harde randvoorwaarde gehanteerd is, is de verhouding tussen centrale en decentrale opwekking van elektriciteit. De impliciete aanname daarbij is dat decentrale opties (zon-PV, windparken en biomassa-installaties) goed ingepast kunnen worden in het elektriciteitsnet. In dit rapport wordt energie gerapporteerd in petajoule (PJ), oppervlak in hectare (ha) en vermogen of capaciteit in megawatt (MW). Gebruikte indices kunnen daarbij het type energie verduidelijken: 'e' voor elektriciteit en 'th' voor thermisch: PJ_e en PJ_{th}. Bij zon-PV is het gebruikelijk om het vermogen weer te geven als 'piekvermogen', aangeduid met 'p': MW_p.

2

Het hernieuwbaar potentieel voor invulling van de energievraag in 2050

Overzicht

De potentiëlen die in dit rapport genoemd zijn, hebben betrekking op 2050 en veronderstellen dus technische ontwikkeling en navenante kostendalingen. Deze kostendalingen zullen echter per techniek variëren en zijn voor veel technieken niet ingeboekt teneinde geen overoptimistisch beeld te schetsen. Onderstaande tabel geeft de potentiëlen en de kosten voor hernieuwbare energietechnieken zoals ze in dit rapport gedocumenteerd zijn. De technieken zijn gerangschikt van groot naar klein potentieel. Door afrondingsverschillen is het totaal potentieel is niet exact gelijk aan de som van de technieken. Er is rekening gehouden met elkaar uitsluitende technieken. Zo overlapt het genoemde potentieel van zon-PV niet met dat van zonthermie.

Tabel 1: Potentiëlen en de kosten voor hernieuwbare energietechnieken

	Beschikbare ha	ha/PJ	Potentieel PJ	Kosten MEUR/PJ
Wind op land (waarvan 7 PJ uit 685,5 MW)	21072	141/671 ¹	149,7	18
Zon-PV op zonneweides	45321	347	130,6	31
Warmte en elektriciteit uit geïmporteerde vaste biomassa	n.v.t.	0	55,6	31
Diepe geothermie	n.v.t.	<<1	34,6	17
Wind op zee		650	30,9	26
Zon-PV op daken	5435	347	15,6	54
Ondiepe geothermie	n.v.t.	<<1	15,2	12,5
Transportbrandstoffen uit geïmporteerde biomassa	n.v.t.	<<1	10,0	18
Transportbrandstoffen uit eigen biomassa		10300	10,0	18
Energie uit water	n.v.t.	<1	6,9	159
Eigen vaste biomassa		5650	5,1	5,3
Microwind	n.v.t.	694	3,6	131
Groen gas uit biogas van reststromen	n.v.t.	<1	2,9	23
Zonthermie		57	2,8	38
Totaal alle technieken			473,5 ²	

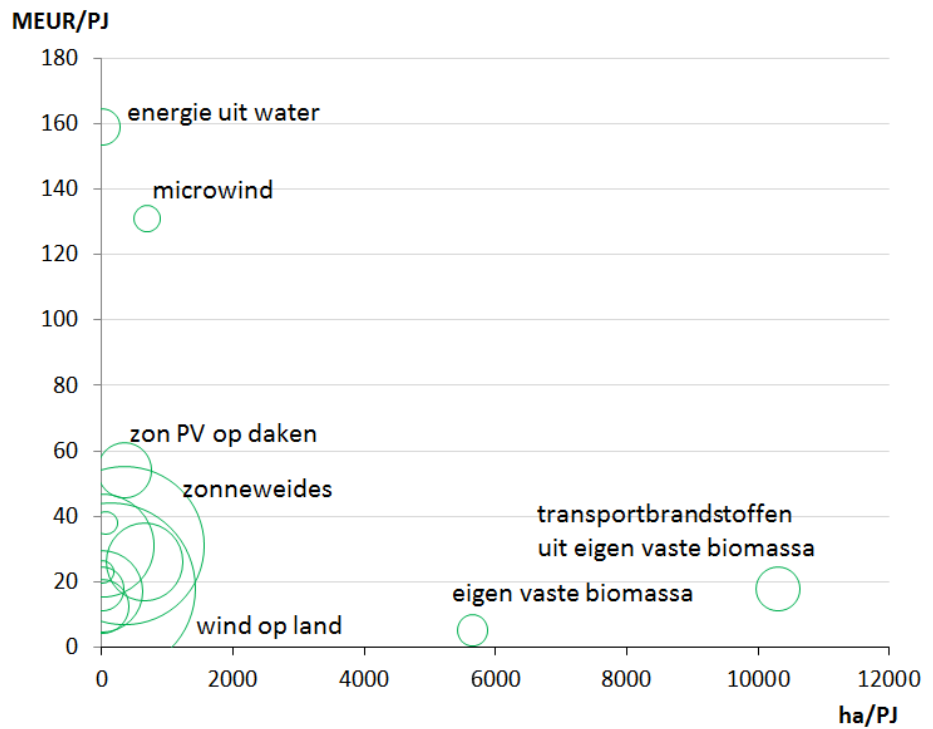
Bron: ruimtelijk potentieel: Provincie Noord-Holland; bron energieopbrengst en kosten: ECN

Figuren 4a en 4b geven de waarden grafisch weer. De grootte van de bollen staat voor het potentieel. Op de x-as staat het ruimtebeslag per hoeveelheid potentieel (ha/PJ) en op de y-as staan de kosten van de techniek (MEUR/PJ).

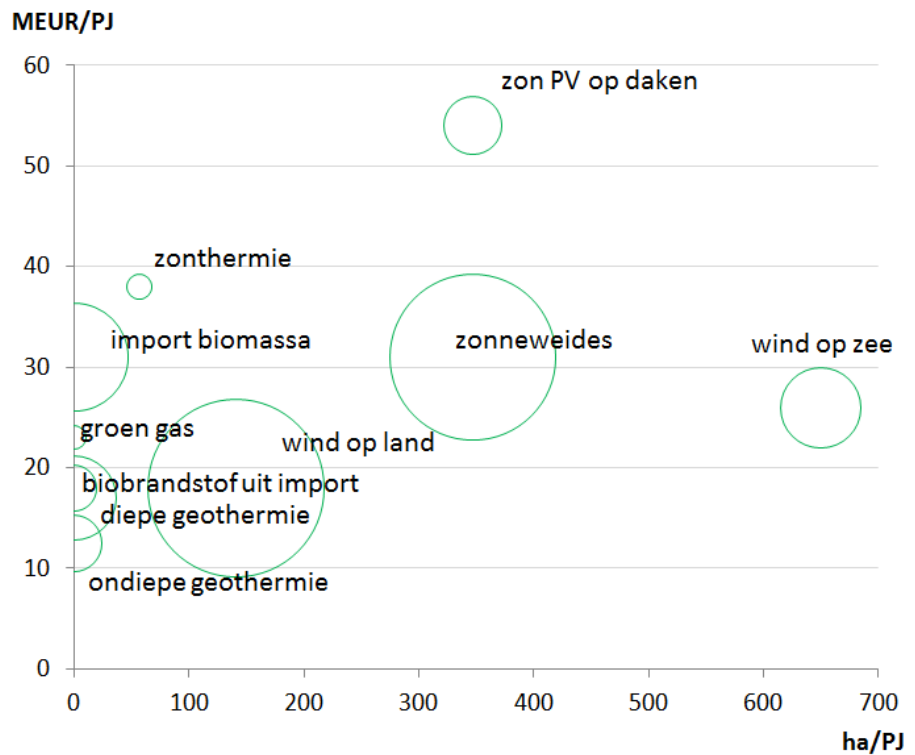
¹ Oppervlak wind op land exclusief/inclusief bufferruimte van 300 m.

² Het is mogelijk dat het totale potentieel een dubbeltelling van Zon-PV en biomassa telt omvat. Dit is niet gekwantificeerd.

Figuur 4a: Ruimtebeslag, potentiëlen en de kosten voor hernieuwbare energietechnieken



Figuur 4b: Ruimtebeslag, potentiëlen en de kosten voor hernieuwbare energietechnieken



2.1 Beschikbare opties voor hernieuwbare energie en energiebesparing

2.1.1 Beschikbare opties voor hernieuwbare energie

In deze paragraaf worden per techniek drie onderwerpen besproken: de kosten, het ruimtegebruik en overige randvoorwaarden voor de vier belangrijkste opties voor hernieuwbare energie: windenergie, zonne-energie, bio-energie en geothermie.

Windenergie

Windturbines kennen een klein direct ruimtebeslag, maar doorslaggevend voor de inventarisatie van de beschikbare ruimte is de te hanteren bufferafstand (afstand tot woningen/bebouwing). Het indirecte ruimtebeslag is zo relatief groot, waar tegenover staat dat meervoudig ruimtegebruik goed mogelijk is (agrarische toepassingen en zonneweides). De wettelijke bufferafstand bedraagt 300 m, maar de provincie Noord-Holland hanteert een eigen afstandseis van 600 m. In de Provinciale Ruimtelijke Verordening (PRV) worden windparken verondersteld in lijnopstellingen van minimaal zes turbines op een rij gebouwd te worden. Deze eis wordt in onderstaande tabel niet meegenomen omdat in deze verkenning het maximaal potentieel in kaart wordt gebracht.

Uitgaande van twee groottes van windturbines (3 MW en 7,5 MW) zijn op basis van twee verschillende bufferafstanden onderstaande hoeveelheden elektriciteitsopwekking (in PJ) afgeleid. Het gehanteerde aantal vollasturen bedraagt daarbij voor turbines van 3 MW 2800 uur per jaar en voor turbines van 7,5 MW 3000 uur (conform SDE+).

Tabel 2: Opbrengst wind op land bij verschillende bufferafstanden en vermogen per turbine. Tussenruimte tussen turbines is 500m. De oppervlakte is exclusief de bufferafstand tot bebouwing.

Bufferafstand	Oppervlakte	Opbrengst [PJ] bij turbine van	
		3 MW	7,5 MW
m	ha		
300	21072	55,9	149,7
500	6729	23,6	63,3

Uitgaande van de kleinst mogelijke bufferafstand (300 m) resteert een oppervlakte van 21072 ha, met een elektriciteitsopbrengst die varieert tussen 55,9 PJ (bij een opgesteld vermogen van 5544 MW aan turbines van 3 MW) en 149,7 PJ (bij een opgesteld vermogen van 13.860 MW aan turbines van 7,5 MW). Voor de analyse in dit rapport wordt uitgegaan van het maximum potentieel in ha (bij 300 m bufferafstand) met turbines van 7,5 MW. Daarmee wordt de potentiële bijdrage geschat op 149,7 PJ.

De vergelijking met het potentieel voor micro-wind (kleine windturbines van minder dan 10 kW) is hier lastig omdat het om een compleet andere orde grootte gaat.

Ruimtelijke beperkingen volgen vooral uit het lokale draagvlak voor deze molens, die altijd dicht bij bebouwing zullen staan. De windturbines zijn aangesloten op het laagspanningsnet van eindverbruikers ('achter de meter') vanwege het voordeel uit het salderen van de opbrengst. Voor de huidige analyse is geprobeerd een maximum te definiëren zonder rekening te houden met het maatschappelijk draagvlak of eventuele netwerkgerelateerde inpassingsproblematiek. De potentiële schatting gaat uit van een miljoen kleine turbines (ongeveer de helft van alle gebouwen in Noord-Holland) van gemiddeld 1 kW (1 GW totaal vermogen), die met een geschatte hoeveelheid vollasturen van 1000 uur per jaar ongeveer 1 TWh elektriciteit produceren. Uitgedrukt in dezelfde eenheid als het potentieel voor grootschalige windenergie wordt dat 3,6 PJ. Als ruimtebeslag is uitgegaan van 25 m² per microturbine.

Er is binnen deze verkenning uitgegaan van de aanname dat er geen potentieel voor de ontwikkeling van windenergie in het IJsselmeer is omdat dit binnen de ecologische hoofdstructuur valt.

De parken die op zee ontwikkeld worden kunnen niet volledig toegerekend worden aan de provincie Noord-Holland: ze leveren elektriciteit voor alle provincies. Van de verwachte 4450 MW die volgens het Energieakkoord in 2023 operationeel moet zijn wordt de elektriciteitsopbrengst naar rato van het elektriciteitsverbruik (16,8% in 2012) aan Noord-Holland toegerekend. De resulterende 748 MW (bij 3700 vollasturen 2,8 TWh of 10,0 PJ) wordt hier gehanteerd als een ondergrens. Over de uitrol van wind op zee na deze periode is geen ambitieniveau beschikbaar. Een eerdere potentieel schatting van ECN (Noord, de et al., 2004) geeft voor Nederland als geheel een potentieel van 27 GW (92 GWh, 331 PJ). Voor deze studie voor Noord-Holland wordt aangenomen dat een reële waarde voor 2050 uitkomt op 15 GW. Na toedeling van dit overall-potentieel aan Noord-Holland volgens dezelfde verdeelsleutel betekent dat 2,5 GW met 8,6 TWh ofwel 30,9 PJ (op basis van 3700 vollasturen). Deze laatste schatting wordt voor de analyse in dit rapport als puntwaarde gekozen voor wind op de Noordzee (met een onzekerheidsrange van 10 tot 56 PJ). In tabelvorm geeft dat onderstaand beeld; de toelichting voor de opwekkingskosten is te vinden in bijlage B.

Tabel 3: Totaaloverzicht windenergie

		Grootte	Elektriciteit	Kosten	Kosten
			[PJ]	EUR/MWh	MEUR/PJ
Wind op land	Grote turbines (>1 MW)	13,9 GW	149,7	59 - 68	16,4 – 18,9
	Micro-turbines (<10 kW)	1 GW	3,6	~470	130,6
	Totaal wind op land	14,9 GW	153,3		
Wind op zee	Noordzee (middenwaarde)	2,5 GW	30,9	95	26,4
Totaal wind		17,4 GW	184,2		

Zonne-energie

Voor het dakoppervlak in de residentiële sector is er concurrentie tussen zonthermie en zon-PV om de beschikbare ruimte. Zonthermie is, zeker op de termijn tot 2050, financieel minder aantrekkelijk dan PV. Voor deze analyse wordt voor de

beschikbaarheid van dakoppervlak geen onderscheid gemaakt tussen de twee technieken. Een beperkt percentage van het beschikbare dakoppervlak is in de analyse bestemd voor zonthermie. Dat heeft te maken met het feit dat de omvang van de vraag naar warm tapwater beperkt is; er is geen gebruik voor ruimteverwarming verondersteld.

Oppervlakte voor zonne-energie

De belangrijkste parameter voor zon-PV is de beschikbare oppervlak in de gebouwde omgeving, beschikbaar uit de analyse van de provincie.

Bestaande bouw

Voor de categorie 'PV op bestaande woningen' is het geschikt veronderstelde oppervlakte in verband met daken in verschillende windrichtingen en beschaduwing geschat op 25% van het totaal, wat resulteert in 1901 ha. Het vermogen bedraagt daarmee 1,9 GW_p (1,5 TWh, 5,5 PJ).

Bestaande bedrijventerreinen

Voor de categorie 'PV op bestaande bebouwing bedrijventerreinen' is het geschikt veronderstelde oppervlakte in verband met het deel van de bestaande bedrijventerreinen dat bebouwd is geschat op 30% van het totaal wat resulteert in 733 ha. Het vermogen bedraagt daarmee 0,7 GW_p (0,6 TWh, 2,1 PJ).

Bestaande kantoren

Voor de categorie 'PV op bestaande kantoren/utiliteitsbouw' is het geschikt veronderstelde oppervlakte in verband met ander gebruik van het dak geschat op 30% van het totaal wat resulteert in 1457 ha. Het vermogen bedraagt daarmee 1,5 GW_p (1,2 TWh, 4,2 PJ).

Nieuwbouw

Voor de categorie 'PV op nieuwe woningen' is het geschikt veronderstelde oppervlakte in verband met daken in verschillende windrichtingen en beschaduwing geschat op 50% van het totaal wat resulteert in 672 ha. Het vermogen bedraagt daarmee 0,7 GW_p (0,5 TWh, 1,9 PJ).

Nieuwe bedrijventerreinen

Voor de categorie 'PV op nieuwe bebouwing bedrijventerreinen' is het geschikt veronderstelde oppervlakte in verband met het deel van de nieuwe bedrijventerreinen dat bebouwd is geschat op 50% van het totaal wat resulteert in 285 ha. Het vermogen bedraagt daarmee 0,3 GW_p (0,2 TWh, 0,8 PJ).

Nieuwe kantoren

Voor de categorie 'PV op nieuwe kantoren/utiliteitsbouw' is het geschikt veronderstelde oppervlakte in verband met ander gebruik van het dak geschat op 25% van het totaal wat resulteert in 293 ha. Het vermogen bedraagt daarmee 0,3 GW_p (0,2 TWh, 0,8 PJ).

Zon-PV langs wegen

De hoeveelheid zon-PV langs wegen kan bepaald worden door uit te gaan van de totale lengte van alle A- en N-wegen buiten bestaand bebouwd gebied: 937 km. Daarvan is niet alles geschikt voor PV; om een eerste orde schatting te maken wordt uitgegaan van 10% geschiktheid, bij een strookbreedte van 1 m. In totaal levert dat 94 ha op wat

overeenkomst met 94 MW_p, bij 80 kWh/m² levert dat een jaarlijkse elektriciteitsopbrengst van 75 GWh (0,3 PJ).

Zon-PV op de grond

Voor zonneweides is het beschikbare oppervlakte buiten bestaand bebouwd gebied bepaald door uitsluiting van diverse gebieden die niet verenigbaar zijn met de zonneweides, zoals weidevogelleefgebieden, luchthavens en werelderfgoed. Voor de categorie 'PV in zonneweides' is voor de schatting van het maximale potentieel de geschikt veronderstelde oppervlakte gesteld op 35% van dit resterend totaal, wat resulteert in 45321 ha. Het vermogen bedraagt daarmee 45,3 GW_p (36,3 TWh, 130,5 PJ).

Het totaaloverzicht van het potentieel voor zon-pv wordt weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 4: Totaaloverzicht zon-PV

		Oppervlakte	Grootte	Elektriciteit	Kosten	Kosten	Factor geschiktheid
		Ha		[PJ]	EUR/MWh	MEUR/PJ	
Bestaande bouw	PV op bestaande woningen	1901	1,9 GWp	5,5	194	53,9	25%
	PV op bestaande bebouwing bedrijventerreinen	733	0,7 GWp	2,1	111	30,8	30%
	PV op bestaande kantoren/utiliteitsbouw	1457	1,5 GWp	4,2	111	30,8	30%
	Totaal zon-PV op bestaande bouw	4091	4,1 GWp	11,8			
Nieuwbouw/nieuwe infra	PV op nieuwe woningen	672	0,7 GWp	1,9	194	53,9	50%
	PV op nieuwe bebouwing bedrijventerreinen	285	0,3 GWp	0,8	111	30,8	50%
	PV op nieuwe kantoren/utiliteitsbouw	293	0,3 GWp	0,8	111	30,8	25%
	PV langs (water)wegen	94	0,1 GWp	0,3	111	30,8	100%
	PV in zonneweides	45321	45,3 GWp	130,5	111	30,8	35%
	Totaal zon-PV op zonneweides en nieuwbouw	46665	46,7 GWp	134,4			
Totaal zon-PV				146,2			
Bestaande bouw en nieuwbouw	Totaal zon-PV op daken			15,6			
	Zon-PV op zonneweides			130,6			
Totaal zon-PV		50755	50,8 GWp	146,2			

Berekening van de Kosten

Op basis van het ECN-gegevens (RESolve, 2014) zijn voor het jaar 2014 onderstaande kosten gedefinieerd:

Huishoudens

Investeringskosten: 930 EUR/kW_p

Kosten inverter (vervangen halverwege de levensduur): 141 EUR/kW_p

Vaste O&M: 12 EUR/kW_p/jaar

Levensduur: 25 jaar

Kosten van elektriciteit: 194 EUR/MWh

Dienstensector en zonneweides

Investeringskosten: 520 EUR/kW_p

Kosten inverter (vervangen halverwege de levensduur): 95 EUR/kW_p

Vaste O&M: 7 EUR/kW_p/jaar

Levensduur: 25 jaar

Kosten van elektriciteit: 111 EUR/MWh

Bio-energie

Vaste biomassa van eigen bodem

Voor eigen biomassa uit Noord-Holland is een schatting gebruikt uit een rapport uit 2006 (Rabou et al, 2006) in opdracht van het platform Groene Grondstoffen. In tabel 18 van dat rapport is te lezen dat er een potentieel van 39,4 PJ in Nederland beschikbaar kan komen uit 'Bos en natuur'. Deze eigen biomassa-stroom wordt verondersteld zonder concurrerende toepassingen beschikbaar te zijn. Het potentieel wordt naar rato van het energieverbruik in de provincie toegerekend aan Noord-Holland: 13% daarvan levert 5,1 PJ. Voor de prijs ervan wordt een waarde gekozen conform (SDE, 2014): 19,1 EUR/MWh (5,3 MEUR/PJ).

Geïmporteerde vaste biomassa

Het potentieel voor houtkachels bij huishoudens wordt hier buiten beschouwing gelaten wegens de negatieve effecten op de lokale luchtkwaliteit. Voor import is (afgezien van afval) een grootschalige verbrandingsoptie voor de hand liggend. Deze wordt behandeld in de volgende paragraaf.

Inzet van biomassa centraal (E-centrales / AVI's / stadsverwarming)

In Noord-Holland staan een aantal elektriciteitscentrales voor grootschalige opwekking van elektriciteit. Om grootschalig biomassa in te zetten in de elektriciteitsopwekking kan er meegestookt worden in bestaande kolencentrales (alleen Hemweg, 630 MW_e) en bijgestookt in gascentrales. Voor deze laatste route wordt vaste biomassa eerst in een aparte installatie vergast tot methaan, dat daarna toegevoerd wordt aan de gascentrale. In totaal staan er op dit moment vier grote gascentrales: Velsen (820 MW_e), IJmond (144 MW_e) Hemweg (435 MW_e) en Diemen (440 MW_e, 260 MW_{th}), in totaal 1839 MW_e en 260 MW_{th}.

Op de termijn tot 2050 is het mogelijk om dit park nog verder uit te bouwen, maar daarover wordt in dit rapport geen uitspraak gedaan. Op dit moment is alleen Diemen een grootschalige warmteleverende centrale. Dit zou in theorie ook gedaan kunnen worden voor andere centrales, waarbij de afzetmogelijkheden voor de warmte een beperkende factor zijn. Deze bottleneck zou opgelost kunnen worden met het concept

‘varende warmte’, waarbij de warmte niet via een warmtenet getransporteerd wordt maar via schepen³.

Tabel 5: Inzet van biomassa in elektriciteitscentrales, afvalbrandingsinstallaties en stadsverwarming⁴

	Elektriciteitsopwekking			Warmtelevering		
	Gas	Kolen		Gas	Kolen	
Velsen	820		MW _e			MW _{th}
IJmond	144		MW _e			MW _{th}
Diemen	440		MW _e	260		MW _{th}
Hemweg	435		MW _e		0	MW _{th}
Totaal vermogen gas	1839		MW_e	260		MW_{th}
Hemweg		630	MW _e		0	MW _{th}
Totaal vermogen kolen		630	MW_e		0	
Vollasturen	6000	6000	h/jaar	2500	2500	h/jaar
Opwekking (TWh)	11,0	3,8	TWh_e	0,7	0,0	TWh_{th}
Opwekking (PJ)	39,7	13,6	PJ_e	2,3	0,0	PJ_{th}
Totaal opwekking gas + kolen (PJ)	53		PJ_e	2		PJ_{th}
Biomassa-input (38%, 39% en 39% eff.)	105	36	PJ input	6		PJ input
Prijs van elektriciteit	139	111	EUR/MWh			

De in tabel 5 vermelde biomassa-input is berekend door toepassing van het conversierendement van de omzettingroute: 38% voor de route via vergassing, 39% voor elektriciteit uit kolencentrales en 39% voor warmteopwekking.

Voor de kosten van de twee bovengenoemde varianten wordt verwezen naar (SDE 2014). Voor de vergassingsroute is de prijs van bio-SNG vermeld (139 EUR/MWh) en voor meestook in kolencentrales de prijs van ‘Bestaande capaciteit voor meestook’ (111 EUR/MWh).

Biogas

Voor biogas wordt het potentieel ingeschat op basis van een rapport van Ekwadraat (2011). De kosten zijn gebaseerd op het SDE+-eindrapport uit 2014.

Transportbrandstoffen

Van eigen bodem

De productie van transportbrandstoffen (behalve bio-SNG) wordt hier verondersteld niet uit eigen biomassa te kunnen geschieden: import (van ruwe biomassa) is

³ De opslag van de warmte zou dan gebeuren in fase-veranderend materiaal (*phase change material*, PCM), dat makkelijk warmte opneemt, vasthoudt en gecontroleerd de warmte weer af kan geven. Het materiaal zou over water in afgesloten tanks vervoerd worden in grote duwbakken. Om 3500 woningen te verwarmen zijn per jaar ongeveer 110 duwbakken nodig. Bron: <https://www.ecn.nl/nl/nieuws/item/start-project-varende-warmte>

⁴ HVC Alkmaar is hierin niet opgenomen omdat dat geen extra potentieel voor hernieuwbaar betreft

noodzakelijk wanneer de productie grootschalig aangepakt wordt. Ter illustratie het eventuele ruimtebeslag: op basis van bijvoorbeeld wilg (houtachtige biomassa) is een opbrengst van 177 GJ/ha (ruwe grondstof) te verwachten. Het nageschakelde conversieproces (warmte- of elektriciteitsproductie, productie van biobrandstoffen) legt dan nog rendementen daaroverheen.

Geïmporteerde grondstoffen voor de productie van biomassa-transportbrandstoffen

De hoeveelheid gebruikte biobrandstoffen in Noord-Holland is niet los te zien van de situatie in Nederland als geheel, en die is weer verbonden aan de ontwikkelingen op EU-niveau. Wanneer de provincie zwaar zou inzetten op biobrandstoffen dan is een tweemaal zo grote bijdrage als het Nederlands gemiddelde mogelijk. Als een eerste orde inschatting wordt hier gekozen voor 20% van alle energie die voor transport gebruikt wordt (merk op dat voor 2050 al veel elektrisch vervoer ingepland staat). Met een totale brandstofvraag voor transport in 2050 van 46 PJ (BAU) en 25 PJ (BSP) betekent bovenstaande aanname dat 5 tot 9 PJ biomassa voor biobrandstoffen nodig is. Met een gemiddeld conversierendement van 70% is daarmee dan een hoeveelheid primaire biomassa nodig van ongeveer 10 PJ. De prijs van deze biomassa wordt gelijk verondersteld aan de prijs van eigen biomassa.

Geothermie

Diepe geothermie

In een publicatie voor AgentschapNL (2011) wordt een potentieel schatting gegeven voor diepe geothermie in Nederland voor het jaar 2050. De uitgangspunten in deze studie zijn optimistisch ten aanzien van het potentieel dat daadwerkelijk ontwikkeld kan worden. Voor de potentieel inschatting voor Noord-Holland worden de gegevens uit de betreffende studie aangepast door minder optimistische aandelen voor het reëel te ontwikkelen potentieel te kiezen (15% voor elektriciteitsopwekking en warmteverbruik in de industrie, 10% voor de gebouwde omgeving (woningen en diensten), maar wel 70% voor de glastuinbouw).

Tabel 6: Overzicht diepe geothermie

		N-H	Maximaal aandeel haalbaar met geothermie	Potentieel	Kosten	Kosten
		PJ	PJ	PJ	EUR/MWh	MEUR/PJ
Elektriciteit	Netinpassing	55	15%	8,2	98,0	27,2
Warmte	Woningen	55	10%	5,5	50,0	13,9
	Diensten	37	10%	3,7	50,0	13,9
	Industrie	21	15%	3,2	50,0	13,9
	Glastuinbouw	20	70%	14,1	50,0	13,9
Totaal warmte		133		26,5		
Totaal elektriciteit en warmte		188		34,6		

Het relatief lage potentieel voor de woningen is mede ingegeven door beperkingen in warmteafzet. Hier ligt het voor de hand om de geothermische warmte in te zetten in bestaande stadsverwarmingssystemen, en deels in nieuwe netwerken. Zoals aangegeven in bovenstaande tabel is er aanzienlijk potentieel voor

elektriciteitsopwekking uit diepe geothermie. De kosten hangen sterk samen met de boordiepte en het is onzeker in hoeverre deze verder zullen dalen. Het is namelijk zo dat er vanuit de mineralenwinning al een leercurve doorlopen is, waarbij onduidelijk is hoeveel er nog te halen valt. De kosten in bovenstaande tabel zijn gebaseerd op de basisbedragen uit het SDE-eindrapport uit 2014 (SDE, 2014). Opwekking van elektriciteit is duurder dan alleen warmteopwekking. De ruimtelijke inpassing vergt weinig aandacht, het is een echte puntbron: hoog vermogen/energie op een zeer klein oppervlak.

Ondiepe geothermie

Ondiepe geothermie levert relatief laagwaardige warmte die goed bruikbaar is in de glastuinbouw, en eventueel in de gebouwde omgeving, voornamelijk in de compacte bouw. Volgens IF (2012) is het typische vermogen 20 kWth/ha. Bij 4000 vollasturen is dat een energieopbrengst van 80 MWhth/ha. Om tot de potentieel schatting te komen is aangenomen dat de resterende 30% van de glastuinbouw (70% is reeds gereserveerd voor diepe geothermie) voor ondiepe geothermie in aanmerking komt. Voor de gebouwde omgeving (woningen en diensten) is 10% gekozen en voor de industrie 0% (wegens het gevraagde hogere temperatuurniveau): De kosten van ondiepe geothermie liggen rond 45 EUR/MWh (12,5 MEUR/PJ) (IF, DLV, KEMA, 2012). Dit is samengevat in onderstaande tabel.

Tabel 7: Overzicht ondiepe geothermie

		N-H	Marktaandeel	Potentieel	Kosten	Kosten
		PJ	PJ	PJ	EUR/MWh	MEUR/PJ
Warmte	Woningen	55	10%	5,5	45,0	12,5
	Diensten	37	10%	3,7	45,0	12,5
	Industrie	21	0%	0,0	45,0	12,5
	Glastuinbouw	20	30%	6,0	45,0	12,5
Totaal warmte		133		15,2		

Energie uit water

Golfenergie

In de periode 2007 – 2011 heeft Rijkswaterstaat met het Water Innovatie programma (WINN) de concepten voor energiewinning uit water geïnventariseerd. Deze grotendeels innovatieve technieken zijn beschreven in de eindpublicatie 'Het Duurzame Vermogen van Water' (Bruggers, 2011). Het WINN-rapport 'De energieproducerende, duurzame dijk' (Schouten, 2009) beschrijft het winnen van energie uit brekende golven bij waterkeringen, één van de twee varianten voor het winnen van golfenergie:

- Windgolven, ontstaan door de wrijving tussen wind en het wateroppervlakte. De energie uit deze golven kan gewonnen worden in dieper water, ver uit de kust. Als gevolg van de relatief korte strijklengte (het traject van energieoverdracht van wind naar water) zijn de golven op de Noordzee kleiner dan golven op de oceaan (gemiddeld is de energie-inhoud in golven in de Noordzee vijf tot acht maal minder dan voor de westkust van Portugal of Groot-Brittannië).

- Brekende golven bij waterkeringen. Golven breken in ondiep water, of lopen op tegen de waterkering en vervolgens weer terug de zee in. Behalve energiewinning uit golven kan de belasting op waterkeringen op deze manier verminderen.

Internationaal zijn er vele demonstratieprojecten voor de winning van golfslagenergie. De twee bovengenoemde publicaties geven een uitgebreid overzicht van de technieken die tot 2011 bekend waren en de werkingsprincipes ervan. In de laatste jaren is het aantal demonstratieprojecten verder toegenomen.

Bij golfslagenergie vindt de winning grotendeels onder de waterspiegel plaats, wat qua zichtbaarheid een voordeel is voor kustgemeenten. Het potentieel voor elektriciteitsopwekking is echter relatief klein in Nederland. De maatschappelijk winbare hoeveelheid elektriciteit uit golfslagenergie (windgolven en brekende golven tezamen) wordt geschat op 1 tot 1,5 TWh per jaar (SDE, 2014). Voor de inschatting wat golfenergie voor Noord-Holland zou kunnen betekenen wordt hier een indicatieve inschatting gemaakt van 0,3 TWh (1,1 PJ). Merk op dat dit een behoorlijk grote inspanning zal vergen en dat deze techniek qua kosten per energieopbrengst drie tot vier maal hoger is dan windenergie op zee. Voor de huidige analyse zijn de kosten voor golfenergie gebaseerd op SDE (2014) en ze bedragen 56,1 cent/kWh, gelijk aan 156 MEUR/PJ.

Energie uit getijden

De locatie in het Marsdiep zou mogelijk in aanmerking kunnen komen voor de ontwikkeling van stromingsenergie uit getijden. Eén spuisluis in de afsluitdijk bij Den oever wordt reeds gebruikt voor het testen en monitoren van drie vrijstromingsturbinen van Noord-Hollandse bodem (Tocado, 2015). De opgewekte elektriciteit wordt ingevoerd in het net. De bijdrage is relatief klein en wordt hier niet verder uitgewerkt.

Energie uit menging van zout en zoet water

Elektriciteitsopwekking uit de menging van zoet en zout water: via osmose is het mogelijk om energie te winnen rond de afsluitdijk. Deze mogelijkheid is vandaag de dag nog duur, ordegrrootte 58,5 cent/kWh (bron: SDE+, 2014). Op termijn is het, afhankelijk van in te boeken kostendalingen (van met name de membranen) en de ontwikkeling van de elektriciteitsprijs, mogelijk dat deze techniek competitief wordt. Volgens het bedrijf Redstack, dat de pilot in Breezanddijk exploiteert, is het theoretisch mogelijk om een Reverse Electro Dialysis osmose-centrale te bouwen van 200 MWe, met een theoretische maximale opbrengst van 1,6 TWh (op basis van 8000 vollasturen). Dit is echter een zeer onzekere optie die slechts wordt meegenomen om de maximaal denkbare opbrengst in kaart te brengen.

Teelt van aquatische biomassa

In Noord-Holland is veel ruimte voorhanden om aquatische biomassa te telen. Met name wanneer dit op de Noordzee zou gebeuren kan dit grootschalig zijn. Naar verwachting is de gekweekte biomassa van zodanige kwaliteit dat deze ingezet zal worden ten behoeve van de grondstofvoorziening voor bio-raffinage in een bio-based economy. Voor de energievoorziening wordt deze optie niet meegenomen in deze studie.

2.1.2 Beschikbare opties voor energiebesparing

De volgende energiebesparingsopties zijn ingezet voor het bepalen van het verbruik in 2050 bij vergaande besparingsmaatregelen:

- Labelstappen woningen. Aangenomen is dat alle woningen naar label A+ gaan in 2050.
- Besparing op verlichting en elektrische apparaten in huishoudens. Aangenomen is dat de beste beschikbare technieken overal zijn toegepast.
- Besparing in de dienstensector. Aangenomen is dat alle gebouwen in 2050 besparende maatregelen hebben met een terugverdientijd tot 20 jaar.
- Een besparingstempo van 1,5% per jaar in de industrie.
- Alle personenauto's elektrisch in 2050.
- Een aantal besparende maatregelen in de glastuinbouw.

2.2 Afweging besparing en hernieuwbaar

Of het doel nu is om het ruimtegebruik van hernieuwbare energie te minimaliseren of de kosten ervan, energiebesparing is een onlosmakelijk deel van de energietransitie. Vermindering van het energieverbruik hoeft niet alleen hogere efficiëntie te betekenen, waarbij bestaande activiteiten minder energie verbruiken, maar kan ook volumereductie betekenen waarbij de omvang van energie verbruikende activiteiten wordt verminderd. In dit onderzoek wordt echter uitgegaan van een geleidelijk groeiende omvang van activiteiten conform de Nationale Energieverkenning. Zeker als de kosten per bespaarde PJ lager zijn dan een hernieuwbaar opgewekte PJ, wat voor een aanzienlijk deel van de besparingsmaatregelen het geval is, is de keuze voor besparing gemakkelijk gemaakt. Als de kosten van energiebesparing hoger worden dan die van een beschikbare hernieuwbare techniek, kan alsnog voor de besparingsoptie worden gekozen als het beperken van het ruimtegebruik tegen de kosten van energiebesparing opweegt. De uitwerking van deze afwegingen komt aan bod in een vervolg op dit onderzoek.

De besparingsmogelijkheden verschillen per energiedrager. Het belangrijkste onderscheid is dat tussen brandstoffen en elektriciteit. Elektriciteit is gemakkelijk te verduurzamen en vaak ruimte-intensief zoals bij zon en wind. Personenauto's en ruimteverwarming in huizen en bedrijfspanden zijn te elektrificeren zodat er minder gas en motorbrandstoffen nodig zijn en verduurzaming via elektriciteit mogelijk wordt. Er wordt om die reden een stijgend aandeel elektriciteit verwacht. Warmte met hoge temperatuur in de industrie en zwaar wegverkeer hebben volgens de huidige inzichten voornamelijk biobrandstof nodig als duurzaam alternatief voor fossiele brandstoffen. Afhankelijk van het potentieel voor biobrandstoffen uit Noord-Holland kan de import van biobrandstoffen worden overwogen om de doelstellingen te halen.

3

Het energiegebruik in 2050

3.1 Het energiegebruik in het basisjaar

Voor de sectoren huishoudens, diensten, industrie, transport en land- en tuinbouw in Noord-Holland is het energiegebruik in het basisjaar 2012 bepaald op basis van achterliggende gegevens van de Nationale Energieverkenning 2014 (NEV) en gegevens uit de Klimaatmonitor. Het jaar 2012 is het startpunt voor de gebruiksontwikkelingen in twee scenario's voor 2050.

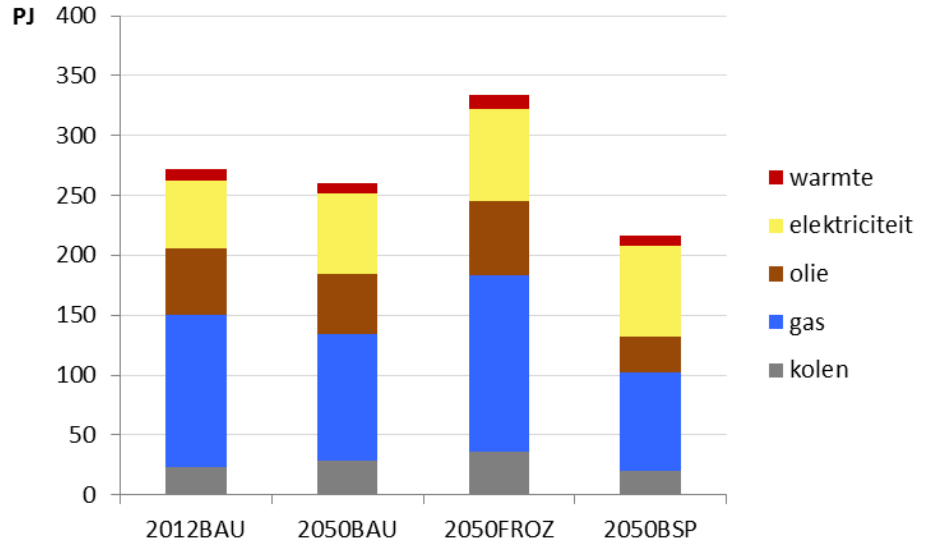
Het non-energetisch gebruik is buiten beschouwing gelaten. In Noord-Holland is het grootste non-energetisch verbruik de inzet van cokes in de hoogovens van Tata Steel. Dit is niet meegenomen omdat op dit verbruik voor het reduceren van ijzererts nauwelijks bespaard kan worden. Het energetisch verbruik van cokes is wel meegeteld. Bij transport is het brandstofverbruik van internationale scheep- en luchtvaart niet meegenomen, wat gebruikelijk is bij internationale rapportages voor broeikasgasemissies.

3.2 Het energiegebruik in 2050 volgens twee scenario's

Het energieverbruik in 2050 is volgens twee scenario's bepaald. Het eerste is een extrapolatie van het scenario met vastgesteld en voorgenomen beleid uit de Nationale Energieverkenning uit 2014. Het toekomstig verbruik per sector is berekend door als eerste stap het verbruik in 2012 te extrapoleren met behulp van energiegerelateerde grootheden, zoals het aantal woningen, het vloeroppervlak van de dienstensector, de toegevoegde waarde in de industrie, het aantal afgelegde kilometers voor transport en het areaal glastuinbouw voor land- en tuinbouw. Deze groei snelheden komen overeen met de NEV. In de tweede stap wordt de toegenomen efficiëntie volgens de NEV

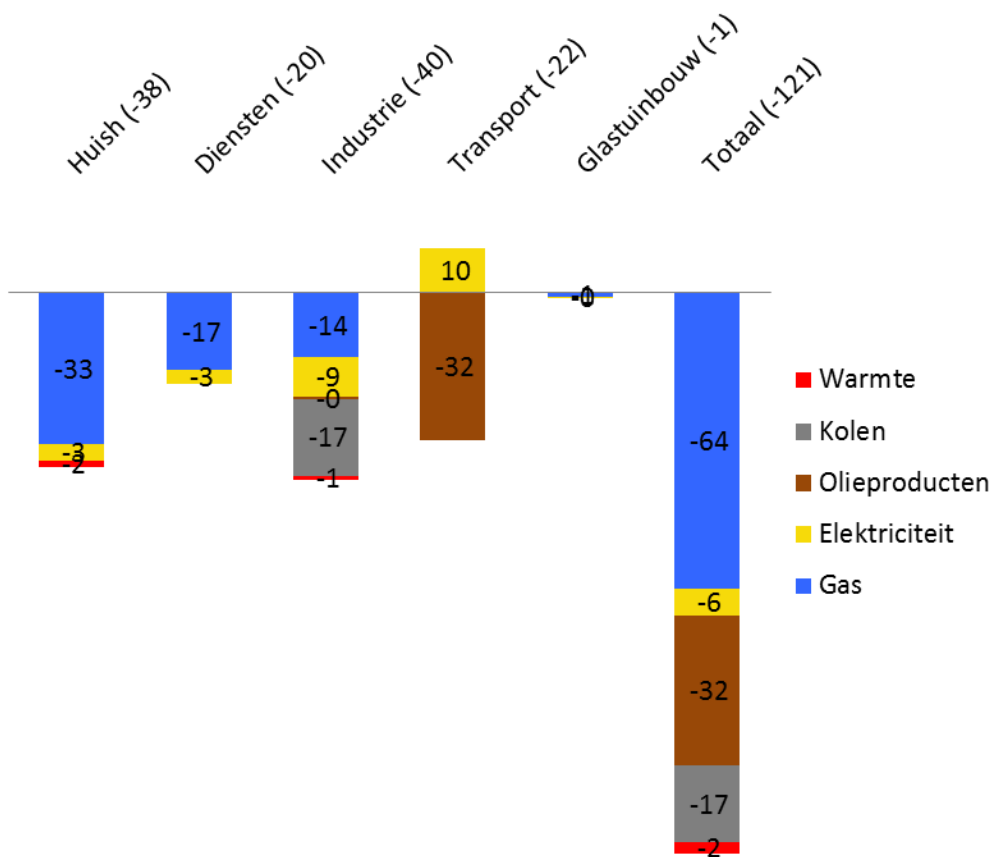
bepaald. Dit vormt de basis voor het verbruik in 2050 bij voorgenomen beleid. Volgens dit scenario is het verbruik in 2050 12 PJ lager dan in 2012. Het tweede scenario bepaalt het energiegebruik in 2050 bij een maximale inzet van energiebesparende maatregelen. In dat geval is het verbruik in 2050 56 PJ lager dan in 2012.

Figuur 5: Energieverbruik per energiedrager in 2012, in 2050 bij geëxtrapoleerd voorgenomen beleid (BAU), in 2050 bij 'frozen efficiency' (FROZ) en in 2050 bij de variant met hoge energiebesparing (BSP)



De uitsplitsing van de maximale besparing naar sectoren en energiedragers is in de volgende figuur bepaald ten opzichte van een fictief hoog verbruik van 334 PJ in 2050 bij constante efficiëntie ofwel frozen efficiency.

Figuur 6: Het effect van intensieve besparing op het energieverbruik in 2050 t.o.v. 'frozen efficiency'



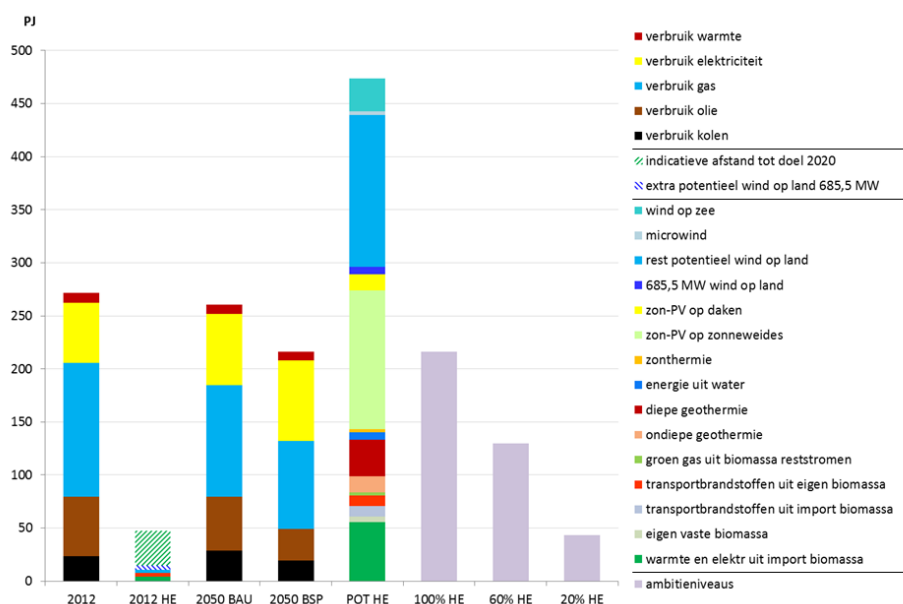
Waarden kleiner dan 0 (onder de as) geven aan dat er is bespaard ten opzichte van het verbruik bij frozen efficiency, b.v. 33 PJ op gas bij huishoudens. Bij transport wordt 32 PJ bespaard op olieproducten, maar wordt er 10 PJ meer elektriciteit ingezet doordat in dit scenario wordt aangenomen dat alle personenauto's op elektriciteit zullen rijden. De totale besparing per sector staat vermeld bij de sectornamen. De totale besparing ten opzichte van de 334 PJ bij frozen efficiency bedraagt 121 PJ.

4

Ambitieniveaus voor hernieuwbare invulling van de energievraag

In Figuur 7 zijn het energieverbruik en het potentieel voor hernieuwbare energie naast elkaar gezet. Deze gegevens vormen de basis om een ambitieniveau voor de hoeveelheid hernieuwbare energie uit Noord-Holland te formuleren.

Figuur 7: Het energieverbruik en de hoeveelheid hernieuwbare energie (HE) in 2012, energieverbruik in 2050 bij nu voorgenomen beleid (BAU), verbruik in 2050 bij hoge energiebesparing (BSP), het potentieel voor hernieuwbare energie in Noord-Holland (POT HE) en drie ambitieniveaus voor verduurzaming: 100%, 60% en 20% van het finaal energetisch verbruik in 2050 bij hoge besparing.



Als voorzet voor verdere discussie is als hoge ambitie een hoeveelheid hernieuwbare energie genomen die even groot is als het totaal energieverbruik in Noord-Holland bij hoge energiebesparingsinzet. Hierbij worden alle soorten hernieuwbare energie op dezelfde wijze behandeld; alle hoeveelheden hernieuwbare energie zijn bij elkaar opgeteld. Een tekort aan biomassa kan zo worden gecompenseerd door een overschot aan hernieuwbare elektriciteit. Een ambitie waarbij de toepassing van de verschillende typen hernieuwbare energie wel wordt meegenomen is natuurlijk ook mogelijk, maar maakt het halen ervan waarschijnlijk moeilijker. Voor de lage ambitie is aangesloten op de EU-doelstellingen voor het aandeel hernieuwbare energie in 2030, waarvoor 27% is afgesproken voor de EU als geheel. Er zijn voor 2030 geen doelen per land afgesproken. Voor Nederland is een lager doel realistisch: Nederland heeft een doel van 14% in 2020 terwijl het doel voor de EU als geheel 20% is. Een reële schatting is 2/3 van 27%, wat ongeveer overeenkomt met een aandeel van 20% hernieuwbare energie in 2030. Een tussendoel in de aanloop naar 2050 zou kunnen zijn het elektriciteitsverbruik 100% in te vullen met hernieuwbaar en een deel van de brandstoffen. De vormgeving van een realistisch scenario voor inpassing van hernieuwbare energie waarbij met meer randvoorwaarden rekening wordt gehouden is het onderwerp van een vervolg op dit onderzoek.

Bijlage A. Ruimtebeslag en potentieel van windenergie

Type turbines met karakteristieken

Voor de periode tot en met 2020 zijn er drie typen turbines (conform KB 2014, planMER).

- 2 MW, ashoogte 100m, rotordiameter 90m, 2400 vollasturen.
- 3 MW, ashoogte 100m, rotordiameter 90m, 2800 vollasturen.
- 7,5 MW, ashoogte 135m, rotordiameter 126m, 3000 vollasturen.

Voor de periode tot en met 2050 kan het vermogen van de turbines toenemen tot 15 MW, met een rotordiameter van 164m. Deze variant wordt hier niet meegenomen omdat de beschrijvende parameters niet voldoende zeker zijn en de turbine van 7,5 MW de voorkeur heeft.

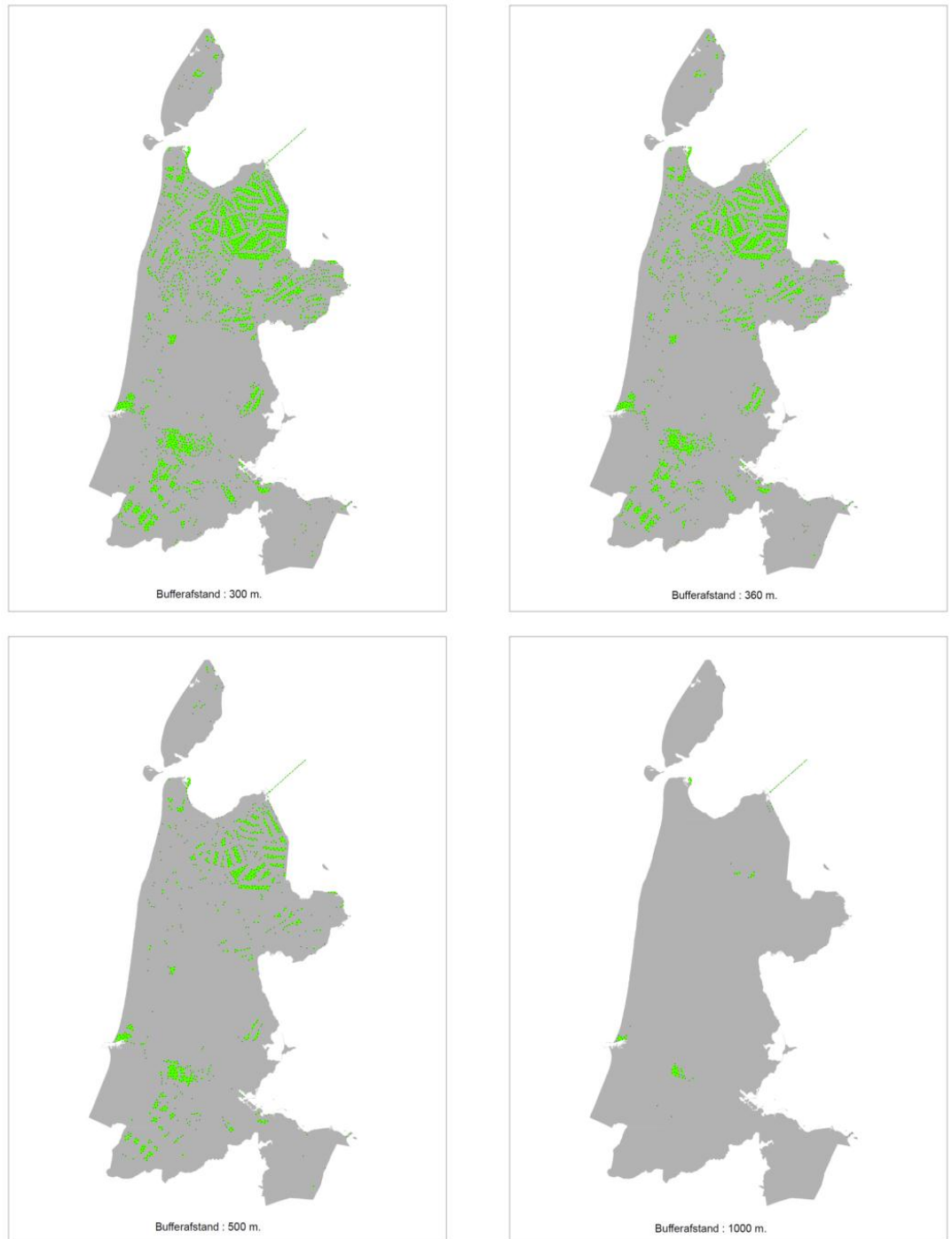
Linksboven in Figuur 8 verderop is de bufferafstand 300 m, rechtsboven 360 meter, linksonder 500 meter en rechtsonder 1000 m. Het groen gemarkeerde gebied is het potentiegebied. Bij 300 meter tussenafstand is er volgens een analyse met GIS door de provincie Noord-Holland ruimte voor 1848 turbines en bij 500 meter tussenafstand voor 781 turbines. Dit leidt tot de potentiëlen in tabel 8.

Tabel 8: Het potentieel voor windenergie afhankelijk van de buffer tot bebouwing

	aantal turbines	vermogen per turbine (MW)	MW	vollasturen	GWh	PJ
Microwind	1000000	0,001	1000	1000	1000	3,6
Wind op land (tussenruimte 500m)						
buffer tot bebouwing 300m	1848	3	5544	2800	15523	55,9
buffer tot bebouwing 500m	781	3	2343	2800	6560	23,6
buffer tot bebouwing 300m	1848	7,5	13860	3000	41580	149,7
buffer tot bebouwing 500m	781	7,5	5858	3000	17573	63,3
Wind op zee			2520	3407	8586	30,9
Totaal wind op land (300m/7,5MW)			14860		42580	153,3
Totaal wind op zee			2520		8586	30,9
Totaal wind op land en op zee			17380		51166	184,2

Figuur 8: Bepaling van het aantal turbines afhankelijk van de bufferafstand.

Potentie windturbines per bufferafstand gevoelige bestemmingen



Legenda

- Potentiële locaties
- Potentiegebied

Kerngetallen

Buffr	Velden (N)	Gem Ha	Tot Ha	Turbines	MW	Jaar KWh (mln)	Huishoudens
300	706	30	21072	1848	5544	12012	3696000
360	569	26	14981	1436	4308	9334	2872000
500	298	23	6729	781	2343	5076,5	1562000
1000	20	37	738	72	216	468	144000



Datum: 28-04-14
 Projectnr.: 252945
 Formaat: A3
 Bron: Kadaster
 Auteur: Bakker W.M.

Bijlage B. Achtergrond bij de kosten voor windenergie

Kosten

Voor de kosten anno 2015 kan geput worden uit het ECN-advies voor de SDE+2015. De parametrisering volgt daarbij het SDE+ spreadsheet (SDE+-spreadsheet, 2014). Voor de schatting van de kosten tot 2050 wordt geput uit het RESolve-E model van ECN, waaruit voor windenergie kosten tot en met 2040 beschikbaar zijn. Er wordt daarbij opgemerkt dat de termijn zodanig ver in de toekomst ligt dat de bijvoorbeeld de afspraken die gemaakt zijn in het kader van het energieakkoord (40% kostenreductie wind op zee) vooral gezien kunnen worden als *richtinggevend* en naar verwachting op de termijn tot 2050 ruimschoots overtroffen zullen worden. Op voorwaarde van verdere ontwikkeling van de kostendaling en een toename van de groothandelselektriciteitsprijs ligt het in de lijn der verwachting dat windenergie in 2050 competitief is.

De kosten van windenergie zoals gedocumenteerd in de SDE+ variëren per type plaatsing: op land kent windenergie lagere kosten dan wanneer geplaatst in zee. Het eindresultaat (inclusief opwekkingskosten) is opgenomen in tabel 9. De berekende kosten en de kostendalingen zijn indicatief en alleen bedoeld om in het kader van deze notitie een ordegrrootte te schetsen.

Tabel 9 – Kostencomponenten windenergie (indicatief)

	Microwind	Wind op land	Wind op zee	
	<< 1 MW	3 - 7,5 MW	3 - 7,5 MW	
Investering 2015	5200	1530	2400	EUR/kW
Investering 2050 (reductie 30%, 20% WoZ)	3640	1071	1900	EUR/kW
Vollasturen min. (rond Amsterdam)	750	2620	3470	uur/jaar
Vollasturen gem. (IJmuiden - Enkhuizen)	1000	2850	3700	uur/jaar
Vollasturen max. (Noordkop)	1250	3200	4050	uur/jaar
Vaste O&M-kosten	15,3	15,3	niet besch.	EUR/kW
Variabele O&M-kosten	0,0143	0,0143	niet besch.	EUR/kWh
Jaarlijks onderhoud (min. vollast)	26,03	52,77	niet besch.	EUR/kW
Jaarlijks onderhoud (gem. vollast)	29,60	56,06	niet besch.	EUR/kW
Jaarlijks onderhoud (max. vollast)	33,18	61,06	niet besch.	EUR/kW
Opwekkosten in 2050 per kWh	46,7	6,4	9,5	cent/kWh
Opwekkosten in 2050 per PJ	131	18	26	EUR/PJ

Begrippenlijst

- kW_p : kiloWatt piek, het maximale vermogen dat kan worden geleverd. Gebruikt voor technieken die gebruik maken van variabele energiebronnen (voornamelijk voor zon-PV) die vaak minder dan het maximale vermogen leveren.
- Vollasturen: energieopwekking gebeurt niet het hele jaar op vol vermogen. Als dat wel zo zou zijn zou je het vermogen van een installatie in MW kunnen vermenigvuldigen met het aantal uren in een jaar (8760) om de opgewekte energie in MWh te berekenen. Door met het aantal vollasturen te vermenigvuldigen wordt rekening gehouden met de werkelijke opwekking in een jaar.

Referenties

- Biomassa in de Nederlandse energiehuishouding in 2030. Rabou et al, http://www.biorefinery.nl/fileadmin/biorefinery/docs/biomassa_in_de_nederlands_e_energiehuishouding_in_2030.pdf
- Diepe geothermie 2050, een visie voor 20% duurzame energie voor Nederland door IF WEP, Ecofys en TNO in opdracht van Agentschap NL (2011), <http://www.rvo.nl/file/1686>.
- Het duurzame vermogen van water, eindrapport WINN, 2011. Marcel Bruggers. http://www.deltares.com/xmlpages/tan/files?p_file_id=23033
- Haalbaarheidsstudie Windenergie op Zee binnen de 12-mijlszone, 26 september 2014, http://www.eerstekamer.nl/overig/20140926/haalbaarheidsstudie_windenergie_op/meta
- Inventarisatie biogasproductie & biogasafname in Noord-Holland, Ekwadraat, 2011.
- Kansen voor Ondiepe Geothermie voor de glastuinbouw, IF, DLV, KEMA, 2012, https://www.wageningenur.nl/upload_mm/6/d/c/4dbbf84d-0d35-4028-97d0-0a23f427b349_2012-6-14%20presentatie%20Kema%20Ondiepe%20GeoThermie%20v9.pdf
- Klimaatmonitor: <http://klimaatmonitor.databank.nl>
- Nationale Energieverkenning 2014: <https://www.ecn.nl/nl/energieverkenning/>
- PIP, Startnotitie uitbreiding elektriciteitsnet Kop Noord-Holland, voornemen tot het opstellen van een Provinciaal Inpassingsplan (PIP) ten behoeve van een uitbreiding van het elektriciteitsnet in de Kop van Noord-Holland, 26 februari 2014
- Potentials and costs for renewable electricity generation : A data overview. Noord, M. de; Beurskens, L.W.M.; Vries, H.J. de, ECN Policy Studies, ECN-C--03-006, February 2004, <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2003/c03006.pdf>
- RESolve-E model, ECN, 2014.
- SDE+-eindrapport 2014: <https://www.ecn.nl/publications/ECN-E--13-050>
- SDE+-spreadsheet, https://www.ecn.nl/fileadmin/ecn/units/bs/SDE/SDE_2015/SDE2015_EIND_2014-11-12.xlsx, 2014
- Eindadvies basisbedragen SDE+ 2015, Lensink S.M., van Zuijlen C.L. ECN-E--14-035, <https://www.ecn.nl/nl/projecten/sde>

- http://www.tocardo.com/news/2015/02/23/tocardo_installs_three_turbines_in_dutch_afsluitdijk/ (maart 2015)
- WINN: De energieproducerende, duurzame dijk, Deltares, 2009, Jan-Joost Schouten. <http://www.innoverenmetwater.nl/upload/documents/De%20energieproducerende%20duurzame%20dijk%20%28rapport%29.pdf>



ECN

Westerduinweg 3
1755 LE Petten

Postbus 1
1755 ZG Petten

T 088 515 4949

F 088 515 8338

info@ecn.nl

www.ecn.nl