ECOFYS
A Navigant Company

Overige hernieuwbare energie in Nederland

Een potentieel studie

Overige hernieuwbare energie in Nederland

Een potentieel studie

Door: David de Jager, Maarten Staats, Wieke Hofsteenge, Paul Noothout

Datum: 3 mei 2017

Projectnummer: ESMNL17359

© Ecofys 2017 in opdracht van: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO)

ECOFYS Netherlands B.V. | Kanaalweg 15G | 3526 KL Utrecht| **T** +31 (0)30 662-3300 | **F** +31 (0)30 662-3301 | **E** info@ecofys.com | **I** www.ecofys.com
Chamber of Commerce 30161191

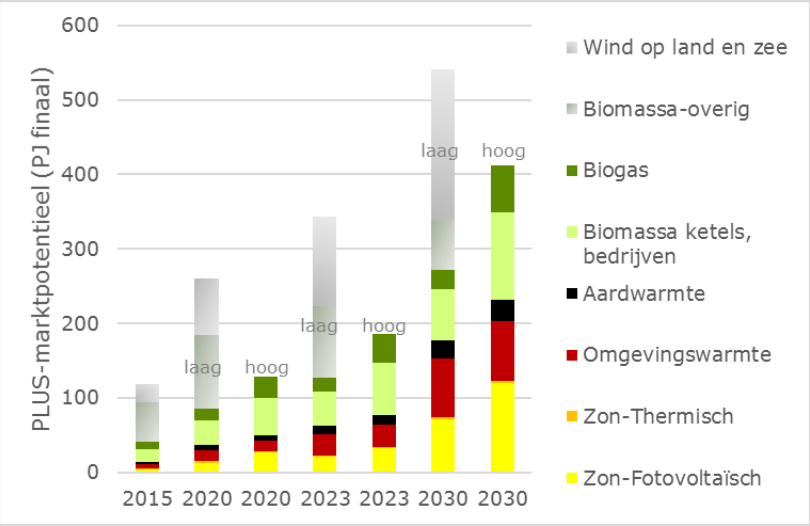
Samenvatting

In het Energieakkoord voor Duurzame Groei is afgesproken dat in 2020 14% van het energiegebruik in Nederland afkomstig moet zijn van hernieuwbare bronnen. In 2023 moet dit verder stijgen naar 16%. De zogenaamde 'overige hernieuwbare energiebronnen' (zon, bodem, buitenlucht, en biomassa (excl. bij- en meestook en bio-transportbrandstoffen), in deze studie aangevuld met energie uit water en kleinschalige (<250 kW) windenergie) zijn essentieel voor het behalen van deze doelstellingen. Maar het inzicht in het realistische ontwikkelingspotentieel op korte- (2020/2023) en middellange termijn (2030) is niet actueel en/of compleet voor Nederland.

In deze studie wordt dit (PLUS) marktpotentieel in kaart gebracht, gebaseerd op literatuuronderzoek, statistieken en trends, en eigen analyses. Het marktpotentieel is gedefinieerd als dat deel van het technisch potentieel dat binnen een bepaalde periode en bij beschikbaarheid van conversietechnologie kan worden ingevuld indien door aanvullend beleid de kosten-effectiviteit wordt verbeterd en/of barrières worden weggenomen. Voor het aanvullend instrumentarium wordt aangesloten bij het huidige instrumentarium, waarbij in het geval van de SDE+ regeling verondersteld wordt dat de maximum fasebedragen gelijk blijven, maar dat het budget voor de regeling als geheel kan worden verhoogd, waardoor technologieën met hogere basisbedragen in de laatste fase aan bod kunnen komen. Het betekent ook dat technologieën/conversieroutes met basisbedragen boven de maximum fasebedragen geen baat zullen hebben van de SDE+ regeling.

De figuur en tabel op de volgende pagina vatten de PLUS-marktpotentiëlen samen en plaatst deze naast het vastgesteld + voorgenomen beleid scenario in de Nationale Energieverkenning 2016 (NEV2016vv). Als percentage van het bruto eindverbruik neemt het marktpotentieel toe van 13-15% in 2020, tot 17-20% in 2023 en 27-34% in 2030. Het PLUS-potentieel geeft een 3-20% hogere bijdrage van hernieuwbare energie t.o.v. NEV2016vv in 2020, wat oploopt tot 30-65% in 2030. De bronnen/technologieën met het grootste potentieel – en ook met aanzienlijke mogelijkheden voor een versnelde realisatie van dit potentieel – zijn: **fotovoltaïsche zonne-energie** (zon-PV), **bio-energie** (thermische biomassa conversie, ketels op vaste of vloeibare biomassa, en vergisting/hernieuwbaar gas), **omgevingswarmte** en in mindere mate **aardwarmte**. De bijdrage van de resterende overige hernieuwbare energiebronnen (water, kleine windturbines en zon-thermisch) is volgens de analyse in dit rapport tot 2030 beperkt.

De aanzienlijke bandbreedte in het PLUS-marktpotentieel wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door de onzekerheden in de ontwikkeling van bio-energie en in mindere mate in die van zon-PV. Hoewel de overige bronnen ook onzekerheden kennen, is bij bio-energie projecten het grote verschil tussen aangevraagde subsidie, beschikte subsidie en gerealiseerde projecten aanzienlijk. De bandbreedte in het realisatiepercentage, in combinatie met de relatief grote jaarlijkse subsidieaanvraag en -beschikking maakt dat de projecties voor bio-energie sterk uiteen kunnen lopen.



Figuur S1: Marktpotentiëlen (lage- en hoge-schatting) per belangrijkste 'overige' hernieuwbare energiebronnen
(indicatief zijn ook de NEV2016vv projecties voor windenergie en overige biomassa weergegeven)

Tabel S1: Samenvatting van het korte- en middellange marktpotentieel voor hernieuwbare energie in Nederland

Potentiëlen (PJ finaal)		PLUS marktpotentieel[1]			NEV vastgesteld + voorgenomen beleid		
Technologie/bron	**2015**	**2020**	**2023**	**2030**	**2020**	**2023**	**2030**
Getijden/onderzeese stroming	0	0	0	0,4	-	-	-
Golven	0	0	0	0	-	-	-
Zoet-zoutgradiënten	0	0	0	0	-	-	-
Rivieren/verval	0,4	0,4	0,45	0,5	0,4	0,4	0,4
Wind (kleinschalig <250 kW)	0	0	0	0	-	-	-
Zon-Fotovoltaïsch	4	13-26	20-32	70-119	13	19	45
Zon-Thermisch	1,1	1,6	1,9	2,6	2	2	3
Omgevingswarmte	5,7	14	29	80	12	15	23
Omgevingswarmte - Woningen	1,7	6	14	48			
Omgevingswarmte - Utiliteit	4,0	8	14	28			
Omgevingswarmte - Industrie	0	0	0	0			
Omgevingswarmte - Landbouw	0	0	1	4			
Aardwarmte	2,5	7	11-12	24-29	7	9	13
Biomassa	80,2	148-177	160-206	162-248	142	147	128
Bij- en meestook	p,m,	25	25	2	25	25	2
Afvalverbrandingsinstallaties*	20	20	18	14	20	18	14
Biomassa huishoudens*	19	19	19	19	19	19	19
Biomassa ketels, bedrijven	p,m,	34-51	45-71	69-118	30	36	42
Biogas	11	16-28	19-39	26-63	14	15	18
Vloeibare transportbrandstoffen*	13	35	34	33	35	34	33
Wind op land*	21,2	44	54	68	44	54	68
Wind op zee*	4	33	65	134	33	65	134
Totaal hernieuwbaar	119	261-302	343-402	541-681	253	313	412
Percentage hernieuwbaar	5,8%	13-15%	17-20%	27-34%	12%	15%	21%

[1] De waarden in de groene cellen in de tabel zijn afkomstig van deze studie, de overige waarden zijn overgenomen uit NEV2016vv.

Het rapport vat de belangrijkste barrières samen die de ontwikkeling en implementatie van de overige hernieuwbare energiebronnen tegenhouden, en beschrijft de maatregelen en aannames die in de PLUS-marktpotentiëlen bij zouden kunnen dragen aan een grotere en/of snellere ontwikkeling van deze bronnen. De belangrijkste maatregelen zijn:

Zon-PV

- Het stimuleren van het optimaal benutten van dakoppervlak in de bestaande en in nieuwbouw, door het afstappen van een gebruik gerelateerde regeling (salderingsregeling) naar een regeling die zoveel mogelijk opwek van zonnestroom per dak stimuleert.
- Stroomlijnen van regelgeving, bijvoorbeeld in relatie tot het faciliteren van woningcorporaties (energievoorziening voor huurders kunnen regelen) en zonneparken (o.a. problemen met omgevingsvergunning).
- Aanhouden en uitbreiden van grootschalige zonprojecten, bijvoorbeeld door zonnestroomlocaties op overheidsgronden aan te besteden in een gecombineerd vergunning/tender proces, conform de ervaringen met offshore wind.
- Monitoren van de ontwikkeling bij de vervanging van asbestdaken door zonnedaken in de landbouw, en indien nodig een gericht programma inrichten voor zonnedaken in de landbouw.

Omgevingswarmte

- Verbeteren van kennisniveau van consumenten en installateurs, door bijvoorbeeld informatievoorziening en cursussen.
- Actief stimuleren van energiebesparing en opwek door middel van warmtepompen, bijvoorbeeld door verdere verschuiving van de belasting van elektriciteit naar aardgas.
- Bij grootschalige renovaties en nieuwbouw dient vaker gekozen te worden voor een aardgasloze variant, dit kan bijvoorbeeld door de (her)aansluiting op aardgas duurder te maken of een verplichting in te stellen voor een oplopend percentage van de bouw dat niet meer op aardgas is aangesloten.

Doordat omgevingswarmte met warmtepompen samen dient te gaan met een aanzienlijke energiebesparing, wordt op twee fronten bijgedragen aan het verhogen van het percentage hernieuwbaar (zowel in de teller als de noemer van de breuk). Door deze combinatie met maatregelen aan de gebouwschil (met typische levensduren van 25-40 jaar) heeft deze aanpak daarnaast een veel langere doorwerking.

Biomassa

- Langere termijn: Creëren van een duurzame waardeketen voor de productie en benutting van biomassa voor (onder andere) energieproductie.
- Verhogen van het realisatiepercentage van bio-energie projecten, door een goede screening vooraf, en advisering en ondersteuning van initiatiefnemers.
- Demonstreren van het concept van tussen- of combinatieteelt voor biogasproductie in de Nederlandse context.
- Werken aan de integratie van bio-energie in de warmtevoorziening van de toekomst.

Aardwarmte

- Verbeteren van de financierbaarheid van aardwarmte-projecten, door het (gedeeltelijk) afdekken van de verschillende risico's: geologisch risico (*revenue risk*), boorrisico (*construction risk*), en exploitatie risico.
- Verkrijgen van een volledig beeld van de verdeling van de verschillende aardwarmte-potentiëlen over Nederland.
- Ondersteunen van de demonstratie van (voor Nederland) nieuwe toepassingen van aardwarmte, zoals ultra-diepe geothermie.

Bij bovenstaande maatregelen is het belangrijk om te vermelden dat binnen deze analyse er geen rekening is gehouden met een eventuele limitatie aan de energie-infrastructuur. Uit onderzoek is gebleken dat deze in de praktijk wel degelijk aanwezig is, maar sterk afhangt van de specifieke implementatie van de technieken. Een te grote afhankelijkheid van elektriciteit uit variabele bronnen (zon, wind) - onder andere voor de productie van warmte - vraagt om een continue verbetering van de infrastructuur (interconnectie, transmissie- en distributienetten, opslag) en een goed afgestemde mix van aanbodopties (naast zon en wind bijvoorbeeld biomassa en aardwarmte voor warmte en elektriciteit, biomassa voor hernieuwbaar gas).

Tenslotte is het belangrijk om ook aandacht te hebben voor een goede coördinatie op lokaal en/of regioniveau, waarbij een goede verdeling van de opwektechnieken nagestreefd dient te worden. Ook de uitrol van warmtenetten vraagt een goede coördinatie tussen bouwers, gebruikers en opwekkers, aangezien bij een klein aantal aansluitingen de netten per aansluiting fors duurder zullen worden.

Inhoudsopgave

1 Inleiding 1

2 Methode/aanpak 2
2.1 Definitie van energiepotentiëlen 2
2.2 Overzicht technologieën 4

3 Potentieel hernieuwbare elektriciteit 6
3.1 Energie uit water 6
3.2 Windenergie (kleinschalige toepassingen) 9
3.3 Fotovoltaïsche zonne-energie 10
3.3.1 Technisch potentieel voor zonnestroom 11
3.3.2 Prognose van kostprijs in de zichtjaren (range) 11
3.3.3 Overzicht van barrières (en kansen) en gevolgen voor beleid 11
3.3.4 Ruimtelijke en financiële concurrentie andere technologieën 14
3.3.5 Inschatting van PLUS-marktpotentieel voor de jaren 2020, 2023 en 2030 15

4 Potentieel hernieuwbare warmte 19
4.1 Omgevingswarmte 20
4.1.1 Toepassing van omgevingswarmte in verschillende sectoren 20
4.1.2 Model voor potentieel omgevingswarmte 20
4.1.3 Prognose van kostprijs in de zichtjaren (range) 21
4.1.4 Overzicht van barrières (en kansen) en gevolgen voor beleid 22
4.1.5 Luchtwarmte, bodemwarmte of warmte/koude uit water 23
4.1.6 Ruimtelijke en financiële concurrentie andere technologieën 24
4.1.7 Inschatting van PLUS-marktpotentieel voor de jaren 2020, 2023 en 2030 25
4.2 Thermische zonne-energie 27
4.2.1 Technisch potentieel voor thermische zonne-energie 28
4.2.2 Overzicht van barrières (en kansen) en gevolgen voor beleid 28
4.2.3 Inschatting van PLUS-marktpotentieel 29
4.3 Aardwarmte 30
4.3.1 Prognose van kostprijs in de zichtjaren (range) 30
4.3.2 Overzicht van barrières (en kansen) en gevolgen voor beleid 31
4.3.3 Ruimtelijke en financiële concurrentie andere technologieën 31
4.3.4 Inschatting BAU- en PLUS-marktpotentieel 2020, 2023 en 2030 31

5 Potentieel biomassa 34
5.1 Route 1: Aanbod van biomassa voor energieconversie 34
5.1.1 Inschatting BAU-aanbod 2020, 2023 en 2030 (exclusief import) 35
5.1.2 Inschatting van PLUS-aanbodpotentieel voor de jaren 2020, 2023 en 2030 (exclusief import) 35
5.2 Route 2: Vraag naar biomassa voor energieconversie 36
5.3 Marktpotentieel biomassa 37

5.3.1 Prognose van kostprijs in de zichtjaren (range) 38
5.3.2 Ruimtelijke en financiële concurrentie andere technologieën 38
5.3.3 Overzicht van barrières (en kansen) en gevolgen voor beleid 39

6 Conclusies 41

7 Referenties 45

Bijlage A: BAU analyse per energiebron 51
Zonnestroom: BAU-marktpotentieel 2020, 2023 en 2030 51
Omgevingswarmte: BAU-marktpotentieel 2020, 2023 en 2030 52

Bijlage B: Technisch potentieel zonnestroom 53
Potentieel op basis van dakoppervlak 53
Landbouw 53
Andere oppervlakken/zonneparken 54

Bijlage C: Toepassing omgevingswarmte 56
Industrie 56
Land- en tuinbouw 56
Gebouwen 57

Bijlage D: Uitgangspunten model omgevingswarmte 58

Bijlage E: Thermische zonne-energie per sector 59
Gebouwde omgeving 59
Landbouw en industrie 60

Bijlage F: Overzicht literatuur over biomassa-potentiëlen 61

1 Inleiding

In het Energieakkoord voor Duurzame Groei is afgesproken dat in 2020 14% van het energiegebruik in Nederland afkomstig moet zijn van hernieuwbare bronnen. In 2023 moet dit verder stijgen naar 16%. In 2015 was het aandeel hernieuwbare energie in Nederland 5,8% (CBS, 2016). Om de ontwikkeling van hernieuwbare energie te stimuleren zijn er verschillende financiële stimuleringsmaatregelen geïmplementeerd (zoals SDE+, ISDE, VAMIL, MIA, EIA, MEP) in veel gevallen ondersteund door flankerend beleid. Vooral de SDE+ heeft ervoor gezorgd dat het aandeel hernieuwbare energie de afgelopen jaren kon stijgen. De laatste jaren is de grootste stijging in hernieuwbare energie te zien in windenergie (op land en zee), aardwarmte en bodemenergie, en fotovoltaïsche zonne-energie (zon-PV). Naast grootschalige projecten, wordt er ook bij kleinschalige gebruikers geïnvesteerd in hernieuwbare energie. De 'overige hernieuwbare energiebronnen' in het Energieakkoord (zon, bodem, buitenlucht, en biomassa (excl. bij- en meestook en bio-transportbrandstoffen), in deze studie aangevuld met energie uit water en kleinschalige windenergie) zijn essentieel voor het behalen van de doelstellingen. Maar het inzicht in het realistische ontwikkelingspotentieel op korte- (2020/2023) en middellange termijn (2030) is niet actueel en/of compleet voor Nederland.

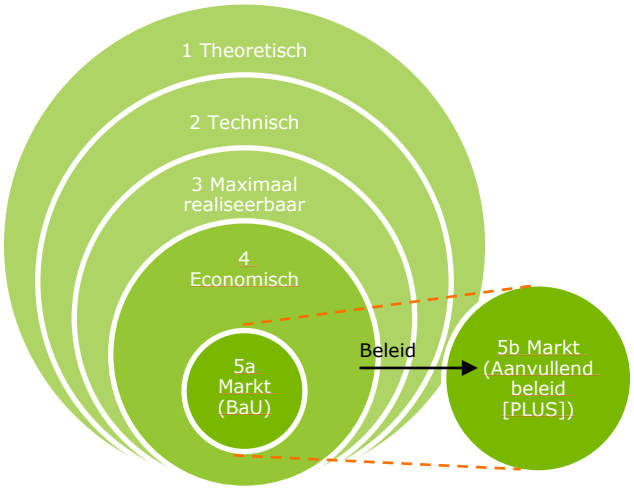
De kernvraag die deze rapportage zal beantwoorden is dan ook: Hoe groot is het realistische potentieel van 'overige' hernieuwbare energie opties in Nederland die een bijdrage kunnen bieden aan het duurzaam opwekken van energie in 2020, 2023 en 2030?

- Welke overige hernieuwbare energiebronnen/technologieën zijn beschikbaar?
- Wat is hun potentieel (technisch, economisch, markt/realistisch) in de zichtjaren?
- Wat zijn de belangrijkste barrières die ontwikkeling en implementatie tegenhouden?
- In welke sectoren kan dit potentieel worden aangetroffen?

2 Methode/aanpak

2.1 Definitie van energiepotentiëlen

In onderstaande Figuur 1 schetsen we de verschillende typen potentieel die onderscheiden kunnen worden (aansluitend bij (Ecofys, 2007)). Voor het afschatten van deze potentiëlen kunnen verschillende methodes worden gebruikt, bijvoorbeeld met behulp van geografische informatie over landgebruik en aanbod van hernieuwbare energie (b.v. GIS informatie over zon-instraling, windaanbod, geothermische flux). In andere gevallen kan met behulp van statistieken en kentallen een juiste inschatting worden gemaakt. Dit geldt vooral voor een groot aantal warmte-opties waarbij niet het aanbod, maar de lokale vraag de beperkende factor is voor het potentieel. In (Ecofys/Shell (a), 2015) en (Ecofys/Shell (b), 2015) worden deze verschillende aanpakken beschreven en naast elkaar toegepast (dit betreft een mondiale inschatting van het potentieel van de belangrijkste hernieuwbare energie conversieroutes, en diende als input voor de Shell Scenarios (Shell, 2016).



Figuur 1 Schematische weergave van de verschillende soorten potentieel (deze studie)

In deze studie onderscheiden we de volgende typen potentieel:

1 Theoretisch	De theoretische hoeveelheid energie die per oppervlakte-eenheid of per locatie beschikbaar is (b.v. zoninstraling of windaanbod per m^2). (Concurrentie met andere vormen van landgebruik wordt hierin veelal al meegenomen, b.v. uitsluiting van natuur- of militaire gebieden).
2 Technisch	Dat deel van het theoretisch potentieel dat met technologie kan worden omgezet in bruikbare energiedragers, zonder rekening te houden beperkingen in het aanbod van de technologie (o.b.v. maximale marktgroei). (Door technologische ontwikkelingen zal dit potentieel in het algemeen toenemen in de tijd. Indien de energiedragers niet kunnen worden getransporteerd, wordt dit technisch potentieel beperkt door de lokale energievraag.)
3 Maximaal realiseerbaar	Dat deel van het technisch potentieel dat met beschikbare technologie kan worden ingevuld binnen een gegeven periode, waarbij alles uit de kast wordt gehaald maar wel rekening wordt gehouden met beperkingen in het aanbod van technologie; de (huidige) kosten-effectiviteit van de technologie speelt hier geen beperkende rol.
4 Economisch	Deel van het maximaal realiseerbaar potentieel dat kosten-effectief kan worden gerealiseerd (vanuit het perspectief van de investeerder), indien niet-technologische, niet-economische barrières worden weggenomen.
5a Markt [BaU]	Deel van het technisch-economische potentieel dat naar verwachting gerealiseerd wordt bij voortzetting van het huidige beleid. [BAU-marktpotentieel]
5b Markt (Aanvullend beleid) [PLUS]	Deel van het maximaal realiseerbaar potentieel dat kan worden ingevuld indien door aanvullend beleid de kosten-effectiviteit wordt verbeterd en/of barrières worden weggenomen. [PLUS-marktpotentieel (aanvullend beleid)]

Uit de verschillende potentieelstudies (zie o.a. IRENA Studies on Renewable Energy Potential (IRENA, 2016), of werk van (NREL, 2016)), blijkt dat het theoretisch en ook het technisch potentieel veelal enkele ordes groter is dan de finale energievraag in een bepaald geografisch gebied. Het potentieel wordt vooral beperkt door het **maximale implementatie-tempo** (b.v. de beschikbare productiecapaciteit, infrastructuur, beschikbaarheid van geschoold personeel voor installatie en onderhoud), **kosten-effectiviteit**, en **niet-technologische barrières** (b.v. informatietekort, maatschappelijke acceptatie/weerstand, beschikbaarheid van kapitaal, economische barrières, markt-omstandigheden, wet- en regelgeving, etc.). Het inschatten van het effect van deze beperkingen op het uiteindelijke marktpotentieel vraagt inzicht in de specifieke implementatie-barrières van de verschillende technologieën.

Overheidsbeleid is essentieel voor het vergroten van het realistische marktpotentieel. Enerzijds kan door de inzet van financiële instrumenten het economische- en marktpotentieel worden vergroot (o.a. SDE+, terugdringen van project- en investeringsrisico's). Anderzijds kunnen niet-financiële barrières met flankerend beleid worden aangepakt (o.a. stroomlijnen van vergunningstraject, voorlichting, normstelling).

In deze studie maken we onderscheid tussen het **BAU-marktpotentieel onder bestaand en voorgenomen beleid (business-as-usual)** en het **PLUS-marktpotentieel met aanvullend beleid** (in Figuur 1 aangeduid als potentieel 5a en 5b). Voor het aanvullend instrumentarium wordt aangesloten bij het huidige instrumentarium, waarbij in het geval van de SDE+ regeling verondersteld wordt dat de maximum fasebedragen gelijk blijven (130 €/MWh voor elektriciteit en warmte, 92 €/MWh voor hernieuwbaar gas), maar dat het budget voor de regeling als geheel kan worden verhoogd, waardoor technologieën met hogere basisbedragen in de laatste fase aan bod kunnen komen[2].

Het betekent ook dat voor technologieën/conversieroutes met basisbedragen boven de maximum fasebedragen geen baat zullen hebben van de SDE+ regeling. Het accent zal komen te liggen op deze BaU- en PLUS-marktpotentiëlen, aangezien deze de beste inschatting geven van de mogelijke bijdrage aan de realisatie van de doelstellingen voor hernieuwbare energie (2020/2023). Voor het BAU-marktpotentieel zal worden aangesloten bij de aannames van de Nationale Energieverkenning 2016, zie Tabel 1.

Tabel 1 Vastgesteld en voorgenomen beleid in de Nationale Energieverkenning 2016

Vastgesteld beleid	Voorgenomen beleid
Energiebelastingen	Innovatieprogramma monomestvergisting
ETS	Wet Milieubeheer 2e/3e lichting erkende maatregellijsten
SDE+, ISDE, VAMIL, MIA, EIA	Aanscherping Ecodesign Europese Unie
Wet Milieubeheer 1ste lichting erkende maatregellijsten	Implementatie energieprestatiekeuring (EPK)
	Stroomversnelling deal fase 3
Ecodesign Europese Unie	Financieringsarrangement koopsector en VvE's
Convenant Energiebesparing Huursector + STEP	Glastuinbouw: green deal Noord-Holland en Led-it-be 50%
Kas als Energiebron + intensiveringsprogramma	Stimulering ultrazuinige auto's, elektrisch vervoer, zero-emissie busvervoer
CO_2-normering voertuigen per 2020/2021	Maatregelen logistieke sector
	CO_2 -normering personenauto's per 2025

2.2 Overzicht technologieën

De volgende technologieën zijn in deze studie geanalyseerd, in meer of mindere mate van detail, afhankelijk van het verwachte PLUS-marktpotentieel in 2030:

- Waterkracht
- Windenergie (kleine windturbines)
- Fotovoltaïsche zonne-energie
- Aardwarmte
- Bodemwarmte en buitenluchtwarmte
- Thermische zonne-energie
- Biomassa energieconversie

[2] Deze veronderstelling is afgestemd met de opdrachtgever.

De technologieën/conversieroutes die hierboven onderstreept zijn, worden in meer detail besproken aangezien voor deze categorieën de grootste potentiëlen dan wel de grootste versnelling in het opgestelde vermogen te verwachten is.

Waar mogelijk worden per technologie de verschillende energiepotentiëlen gerapporteerd, voor zover de beschikbare literatuur dit mogelijk maakt. Per bron/technologie presenteren we de volgende elementen:

- Inschatting van BAU-marktpotentieel voor de jaren 2020, 2023 en 2030, onder veronderstellingen m.b.t. bestaand en voorgenomen beleid
  - Literatuuronderzoek, gevolgd door een eventuele actualisering, extra- of interpolatie
  - Eigen expertise, marktkennis en inschattingen
  - Interviews (indien nodig)
- Inschatting van PLUS-marktpotentieel voor de jaren 2020, 2023 en 2030, bij specifieke veronderstellingen over aanvullend beleid

Voor de technologieën met relatief groot potentieel wordt daarnaast de volgende informatie verstrekt:

- Ruwe prognose van kostprijs in de zichtjaren (range)
- Overzicht van barrières (en kansen) en gevolgen voor beleid
- Ruimtelijke en financiële concurrentie met andere technologieën

3 Potentieel hernieuwbare elektriciteit

Aan het potentieel voor elektriciteit worden geen beperkingen opgesteld: verondersteld wordt dat het elektriciteitssysteem in staat is om de geproduceerde elektriciteit te transporteren naar de eindgebruiker, al dan niet met inzet van opslag-technologieën en/of omzetting in andere energiedragers.

3.1 Energie uit water

Ecofys heeft samen met NWP en Blueconomy de studie: *Marktkansen en bijdrage aan verduurzaming van innovatieve technologie voor energie met water uitgevoerd* (Ecofys, NWP, & Blueconomy, 2014). Deze studie maakt inzichtelijk welke bijdrage water- en energietechnologie (verval, vrije stromingsenergie, golfenergie en osmose) in de toekomst (2035) kan leveren. Voor elektriciteitsproductie uit water worden de volgende conversieroutes in bovenstaande studie besproken (zie Tabel 2).

Energie uit getijden / onderzeese stroming

In Nederland is het potentieel voor getijde/stromingsenergie van de Noordzee beperkt vergeleken met andere kustlocaties in Europa en de wereld. Uit het verschil in waterstand zou energie kunnen worden gewonnen in het Haringvliet, het Grevelingenmeer, de Oosterschelde en het Lauwersmeer. In de Oosterschelde, het Veerse meer, Grevelingenmeer, Haringvliet, Westerschelde en de Waddenzee is de getijdestroming voor elektriciteitsproductie te gebruiken (daar waar de stroomsnelheid groter is dan 1 m/s en rekening houdend met andere vormen van ruimtegebruik). De studie schat het 'maatschappelijk' potentieel (vergelijkbaar met het marktpotentieel [PLUS] van onderhavige studie) voor 2035 in op 0,3 tot 1 PJ (finaal).

De kostprijs van stromingsenergie is naar verhouding hoog. In (ECN / DNV GL, 2016) wordt deze ingeschat op 192 €/MWh, wat aanzienlijk boven de 130 €/MWh voor het maximum fasebedrag ligt in de SDE+-regeling voor 2017 (Staatscourant 7494, 2017). In diverse literatuurbronnen wordt energie uit getijden en onderzeese stroming een aanzienlijk kostenreductiepotentieel toegedicht[3], maar dit is sterk afhankelijk van het tempo waarin de leercurve wordt doorlopen. In (IEA, 2016) wordt voor *ocean energy* (getijde- en golf-energie) in de periode 2015-2021 een toename in het mondiale opgestelde vermogen gerapporteerd van ca. 100 MW, wat op korte termijn niet tot aanzienlijke kostenreducties zal leiden. Tot 2030 stellen we het BAU-marktpotentieel (Tabel 2) dan ook op 0 PJ, met mogelijk een bovengrens van 0,4 PJ in 2030 in het PLUS-marktpotentieel (Tabel 3), overeenkomend met 30 MW opgesteld vermogen.

[3] B.v. (EnerginetDK, 2012), (JRC, 2014)

Tabel 2 Lange-termijn energiepotentieel voor elektriciteitsproductie uit water (literatuur)

Elektriciteit	2015[a] (in PJ)	Lange-termijn potentiëlen[b] (in PJ)			
		Theoretisch	Technisch	Maximaal realiseerbaar	Marktpotentieel 2035
Getijden / onderzeese stroming	0	86	15	8	0,4 - 3
Golven	0	32	10	5	0,1 – 1
Zoet-zoutgradiënten	0	220	65	22	1 – 8
Rivieren / verval	0,4	15	2	1	0,4 – 0,7
Totaal	**0,4**	**350**	**90**	**35**	**2-13**

[a] (CBS, 2016) [b] (Ecofys, NWP, & Blueconomy, 2014)

Energie uit golven

Het potentieel voor golf-energie in Nederland is eveneens gering (zie Tabel 2). Bovendien zijn de kosten nog ongeveer een factor twee hoger dan die voor getijde-energie en zullen naar verwachting tot 2030 ook boven de maximale subsidie-bedragen van de SDE+-regeling blijven (JRC, 2014). Het BAU- en PLUS-marktpotentieel wordt dan ook ingeschat op 0 PJ tot 2030.

Energie uit temperatuurverschil met oppervlaktewater (diepzee)

Met *Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)* is – gezien de vereiste zeediepte van ca. 1 km waarmee de temperatuurverschillen boven 20 ^{0}C benut kunnen worden – alleen in de Nederlandse Antillen mogelijk elektriciteit te produceren. Tot 2030 nemen we een potentieel van 0 PJ aan (BAU en PLUS).

Energie uit zoet-zoutgradiënten

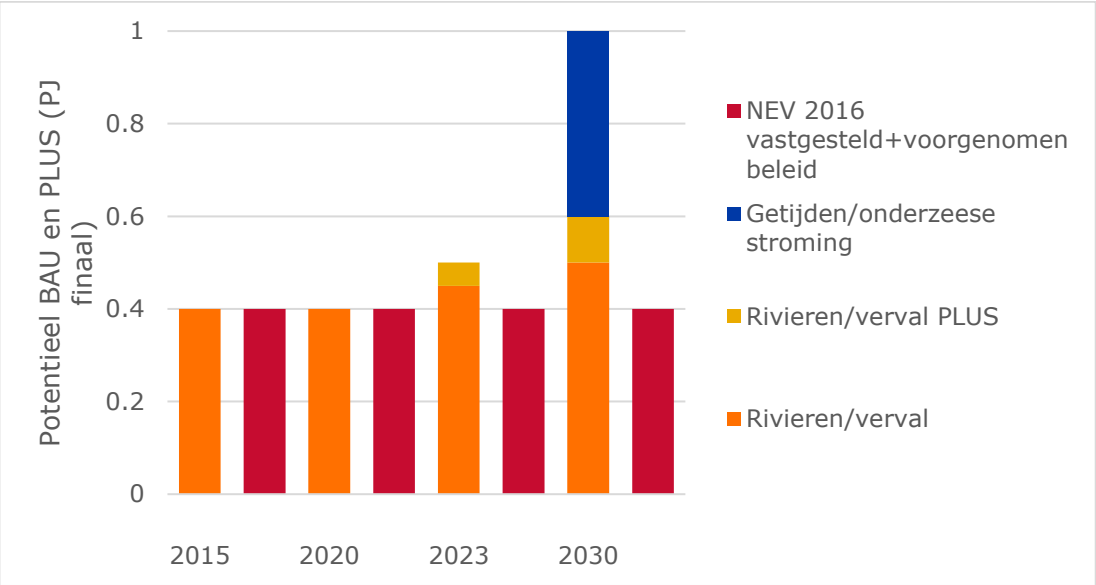
Osmotische energie heeft een enorm theoretisch potentieel, maar verkeert nog in de ontwikkelingsfase. De huidige membraan-technologie is nog erg gevoelig voor verontreinigingen in het water, werkt minder goed bij de relatief lage temperaturen in Nederland, waardoor toepassingen in niet-gecontroleerde omstandigheden vooralsnog niet grootschalig zal plaatsvinden. De kostprijs zou in de volgende decade in de 100-300 €/MWh range kunnen komen te liggen, afhankelijk van de technologie en de leercurves die deze technologieën zullen doorlopen (IRENA, 2014). Tot 2030 wordt het BAU- en PLUS-marktpotentieel ingeschat op (afgerond) 0 PJ.

Energie uit rivieren / verval

Nederland heeft nog een gering additioneel potentieel voor waterkracht. Voor 2030 veronderstellen we een PLUS-marktpotentieel van 0,5 PJ, de veronderstelde toename is voornamelijk het gevolg van een aantal kleinere projecten. In het BAU-potentieel veronderstellen we geen (significante) toename in het opgestelde vermogen aan waterkrachtcentrales.

Samenvatting energie uit water

In onderstaande grafiek worden de BAU- en PLUS-marktpotentiëlen voor energie uit water voor 2020/2023 en 2030 samengevat. Het totale additionele potentieel voor elektriciteit uit water is tot 2030 beperkt (tot ca. 1 PJ in 2030), maar hangt sterk af van technologische ontwikkelingen binnen en buiten Nederland.



Figuur 2 **BAU en PLUS marktpotentieel energie uit water (elektriciteit)**

Tabel 3 **BAU en PLUS-marktpotentieel energie uit water (deze studie)**

Potentiëlen (PJ finaal)	BAU / PLUS		Marktpotentieel			NEV vastgesteld + voorgenomen beleid		
Technologie/bron		**2015**	**2020**	**2023**	**2030**	**2020**	**2023**	**2030**
Getijden/onderzeese stroming	BAU	0	0	0	0			
	PLUS				0,4			
Golven	BAU/PLUS	0	0	0	0			
Zoet-zoutgradiënten	BAU/PLUS	0	0	0	0			
Rivieren/verval	BAU	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	PLUS			0,45	0,5			
Totaal energie uit water	BAU PLUS	0,4	0,4	0,4 0,45	0,4 0,9	0,4	0,4	0,4

3.2 Windenergie (kleinschalige toepassingen)

Voor windenergie ligt de focus in deze studie op kleinschalige wind, met een capaciteit kleiner dan 250 kW. Er is weinig bekend over het marktpotentieel van kleinschalige windturbines in Nederland. Dit heeft deels te maken met de *technology readiness level* (TRL) van de (<10 kW) concepten, de relatieve hoge kosten en lage opbrengsten en als gevolg daarvan concurrentie met gangbare windturbines (>1 MW) of zon-PV (in geval van toepassing in gebouwen). Hoewel het technische potentieel voor deze categorie op zich aanzienlijk zou kunnen zijn (b.v. enkele honderden MW voor mini-windturbines), is er op veel plaatsen met andere technologieën meer hernieuwbare elektriciteit op te wekken tegen lagere kosten.

Mini-windturbines die op of bij gebouwen kunnen worden geplaatst hebben typisch vermogens kleiner dan 10 kW, en soms lager dan 1 kW. De hoge investeringskosten (b.v. in de range 5.000 tot 10.000 €/kW, maar ook tot 50.000 €/kW), en de lage windopbrengst (capaciteitsfactoren tussen 4 en 20%) resulteren in productiekosten voor elektriciteit van enkele honderden tot duizenden euro per MWh. Puur vanuit een energiekosten-perspectief zullen deze technologieën op korte en lange termijn niet kunnen concurreren met bijvoorbeeld fotovoltaïsche zonne-energie (Mertens, 2012) (AgentschapNL, 2010) (van Ackere, van Wijngene, van Eetvelde, & Vandevelde, 2015). De mini-turbines kunnen daarnaast fungeren als duurzaam 'uithangbord' waarmee bedrijven en gemeentes hun inspanningen op het gebied van energie zichtbaar kunnen maken, en hebben dus ook een marketing meerwaarde.

Volgens gegevens van RVO[4] hebben in 2016 24 windturbines (10-40 kW) een SDE+ beschikking ontvangen. Het opgestelde vermogen van 0,37 MW is goed voor 1.065 MWh, oftewel bijna 4 TJ (elektrisch). Om in de buurt van 1 PJ te komen moeten ca. 2.500 (40 kW) tot 10.000 (10 kW) van dergelijke mini-turbines in bedrijf genomen worden.

Grotere windturbines tot 250 kW worden niet of nauwelijks meer geplaatst in Nederland. Volgens CBS (Statline) werden in de periode 2000 t/m 2015 in totaal 21 turbines geplaatst met een ashoogte t/m 30 meter (met vermogens tot 250 kW per turbine), met een totaal vermogen van ca. 1 MW. Voor grotere ashoogtes worden typische grotere vermogens gebruikt (b.v. vanaf 750 kW). Voor de grotere turbines (enkele tientallen tot 100 kW) zijn de productiekosten lager: afhankelijk van de locatie liggen de waarden tussen 100 en 300 €/MWh (Wilson & Broehl, 2017)).

Ook op mondiaal niveau is de ontwikkeling in de opgestelde capaciteit van deze categorie turbines beperkt en wordt weinig groei voorzien. (Wilson & Broehl, 2017) schatten het mondiale marktpotentieel voor windturbines met een capaciteit kleiner dan 1 MW in op 300 MW tot 2023, waarvan ca. 80 MW in Europa en dan vooral voor de grotere turbinevermogens (enkele honderden kW tot 1 MW). Alleen in markten met specifiek beleid voor deze categorie windturbines – zoals hogere tarieven (b.v. 200-335 €/MWh in Denemarken) – is dit marktpotentieel te ontwikkelen. Gezien de ontwikkelingen van de laatste decennia, de relatieve hoge kosten (vooralsnog boven de 130 €/MWh van het maximum fasebedrag in de SDE+ regeling), lokaal beleid en de concurrentie met grotere windturbines stellen we het BAU- en PLUS-marktpotentieel op (afgerond) 0 PJ tot 2030.

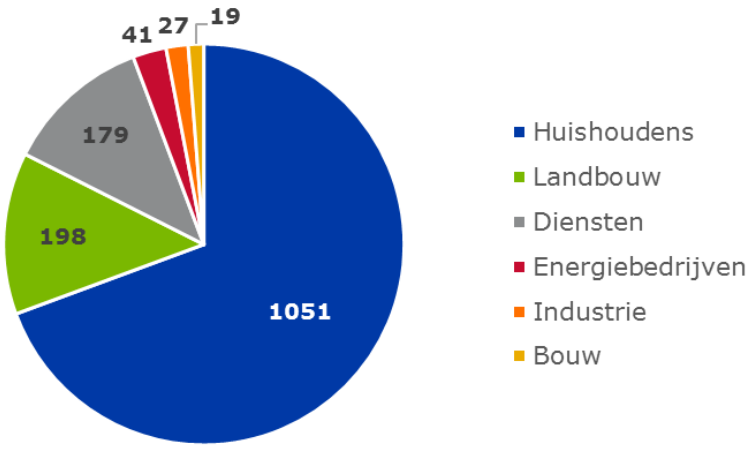
[4] http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/sde/feiten-en-cijfers/stand-van-zaken-aanvragen

3.3 Fotovoltaïsche zonne-energie

Het potentieel van zonnestroom (zon-PV) is direct gerelateerd aan de efficiëntie van de energieconversie, het beschikbare oppervlak voor, en de oriëntatie van de zonnepanelen. Gedurende de afgelopen decennia is de efficiëntie van zonnepanelen steeds toegenomen (zowel in laboratoria als in commercieel verkrijgbare systemen). Hierdoor is de hoeveelheid energie die per oppervlakte verkregen kan worden ook toegenomen.

Uitgaande van de huidige efficiëntie en een goede oriëntatie van de zonnepanelen is door middel van het optellen van het beschikbare oppervlak het theoretisch potentieel te bepalen. In de praktijk zullen niet op al het beschikbare oppervlak zonnepanelen worden gelegd. Bij het dakoppervlakte moet bijvoorbeeld rekening gehouden worden met een minder optimale oriëntatie (b.v. op het noorden), schaduwval van obstakels op het dak en voldoende afstand van de dakrand (voor onderhoudswerkzaamheden). Wanneer dergelijke correcties worden meegenomen kan gekomen worden tot het maximaal realiseerbare potentieel.

Sinds 2012 is er een duidelijke versnelling in de ontwikkeling van zonnestroom in Nederland. Waar het geïnstalleerd vermogen van zonnepanelen in 2011 nog 145 MW_p was, is dit vermogen in 4 jaar vertienvoudigd naar 1500 MW_p in 2015 (CBS, 2016). Op dit moment worden vrijwel alleen op daken zonnepanelen neergelegd (hoewel er ook verschillende grondgebonden zonneparken zijn en ook in toenemende mate nieuwe zonneparken worden ontwikkeld). In Figuur 3 wordt de verdeling per sector van eind 2015 weergegeven, zoals deze ingeschat is door het Solar Trend Rapport (Solar Solutions, 2017).



Figuur 3 Verdeling geïnstalleerd vermogen zonnestroom (in MW) per sector eind 2015 (Solar Solutions, 2017)

3.3.1 Technisch potentieel voor zonnestroom

Het technisch potentieel voor zonnestroom op dakoppervlakken is in een studie van (PBL / DNV GL, 2014) berekend op 184 PJ per jaar. Andere studies, waaronder van Holland Solar en Ecofys/Shell komen op vergelijkbare potentiëlen uit. De landbouw is een speciaal onderdeel hierin: volgens de studie van (Holland Solar, 2015) kan hier 30 PJ aan zonnestroom worden opgewekt. Daarnaast is er een verplichting om asbestdaken uiterlijk te laten vervangen in 2023. Aangezien in 2013 nog 90% van de agrarische bedrijven asbest in de daken had zitten (AgroAbestVeilig, 2013), kan dit een groot potentieel vormen om met de nieuwe daken ook zonnepanelen neer te leggen.

Naast dakoppervlaktes is er een groot potentieel voor grote projecten met zonnepanelen op de grond, ook wel zonneparken genoemd. Zonneparken zijn vooral in de afgelopen jaren meer in ontwikkeling. Volgens de database van (Polder PV, 2016) is er op dit moment 52 MW_p aan vermogen van zonneparken geïnstalleerd. In de SDE+ van 2016 is er voor 461 MW_p aangevraagd voor projecten groter dan 5 MW_p, grotendeels bestaande uit zonneparken. De verwachting is dat het geïnstalleerd vermogen in zonneparken de komende jaren zich sterk zal ontwikkelen. Een verdere uitwerking van de potentiëlen is te vinden in Bijlage B: Technisch potentieel zonnestroom.

3.3.2 Prognose van kostprijs in de zichtjaren (range)

Kleinere systemen voor woningdaken (<10 kW_p) hebben - inclusief installatie, en afhankelijk van de specifieke omstandigheden en systeemgrootte – een kostprijs die ligt in de range 1050 – 1350 €/kW_p. Grotere systemen (>1 MW_p) hebben een kostprijs in de range 800 – 1000 €/kW_p. De verwachting is dat de kostprijs tot 2030 zal dalen met zo'n 25-35% (JRC, 2014). Dit zorgt ervoor dat de productiekosten van elektriciteit zullen dalen van 160-180 naar 85-105 €/MWh voor gebouwen (b.v. daken met 6 kW_p), en van 120 naar 85 €/MWh voor PV-velden (2 MW_p), bij 3-4% kosten van kapitaal en een afschrijftermijn van 15 jaar (eigen berekeningen). Wanneer niet de termijn van de subsidieduur, maar de technische levensduur van de technologie bepalend wordt voor de afschrijftermijn, kunnen kosten verder en eerder dalen. In de recente tenders in Denemarken en Duitsland zijn basisprijzen in de range van 50 tot 70 €/MWh geboden (20 jaar subsidietermijn).

3.3.3 Overzicht van barrières (en kansen) en gevolgen voor beleid

De huidige stimuleringsregelgeving maakt een duidelijk onderscheid tussen het type aansluiting waar de zonnepanelen worden geïnstalleerd. Kleingebruikers (minder dan 3 x 80 A aansluiting) kunnen gebruik maken van de salderingsregeling, die gebruik tegen productie wegstreept. Grootgebruikers (meer dan 3 x 80 A aansluiting) kunnen gebruik maken van de SDE+-regeling die een vaste prijs per geproduceerde hoeveelheid elektriciteit voor 15 jaar garandeert. De belangrijkste barrières en oplossingen van beide groepen zullen apart behandeld worden.

Dakoppervlak wordt niet optimaal benut
Een barrière bij de salderingsregeling is dat er niet wordt gestimuleerd om het dakoppervlak van woningen maximaal te benutten, omdat er alleen gesaldeerd mag worden tot het eigen gebruik van de aansluiting. Hierdoor worden er op woningen met grote daken maar een relatief klein aantal zonnepanelen neergelegd, waardoor veel minder potentieel van zonnestroom wordt benut dan het dak toelaat.

Ook heeft de Minister van Economische Zaken aangekondigd dat de salderingsregeling mogelijk vanaf 2020 zal worden aangepast. Omdat investeringen in nieuwe systemen tegen die tijd nog niet terugverdiend zullen zijn (terugverdientijd circa 8 jaar), kan dit zorgen tot uitstel van aankoop. Ten slotte is er ook nog een barrière voor woningen met geen of weinig eigen dakoppervlak. Zij kunnen alleen in de directe omgeving (via de postcoderoosregeling) gebruik maken van andere daken. Wanneer er geen projecten in deze omgeving worden opgezet, kunnen deze bewoners niet investeren in de eigen opwek van zonnestroom (ze kunnen wel investeren in zonnestroom projecten, maar dit zal niet gecompenseerd worden met het eigen gebruik van elektriciteit).

Meer versnelling bij woningbouwcorporaties

Toch blijft het bij kleingebruikers door het groot aantal eigenaren van het dakoppervlak lastig om snel grote slagen te slaan (elke koopwoning heeft een aparte eigenaar van het dakoppervlak). Om hier met minder actoren sneller stappen te kunnen maken, kan gekeken worden naar woningcorporaties. Via woningcorporaties kunnen circa 2,5 miljoen consumenten bereikt worden met zonnestroom (samen goed voor een theoretisch potentieel van circa 39 PJ, of 31% van het theoretische potentieel in de woningbouw (Holland Solar, 2015)). Het is echter onder de huidige huurtellingsystematiek niet mogelijk om de investering van deze zonnepanelen eenvoudig bij de woningcorporatie te leggen (DNV GL, 2015), waarbij huurders deze investering terugbetalen via de energierekening. Door deze huurtellingsystematiek aan te passen of woningbouwcorporaties toe te staan de elektriciteitsvoorziening voor hun huurders te laten organiseren, kunnen woningcorporaties eenvoudiger zonnepanelen toepassen op hun woningbestand.

Substantieel meer SDE+ aanvragen dan toekenningen

Op een grootgebruikersaansluiting worden vaak zonnepanelen geïnstalleerd in combinatie met een SDE+ toekenning. Zonnestroomprojecten hebben een relatief hoge kostprijs, waardoor in het verleden het budget voor de SDE+-regeling vaak uitgeput was wanneer de fase aan bod kwam met typische basisbedragen voor zonne-energie. Hoewel dit probleem door een verhoging van het totale budget (en goedkoper worden van zon-PV) aanzienlijk is verminderd, blijft een groot deel van de zon-PV projecten achter het net vissen. Dit is bijvoorbeeld te zien aan het aantal aanvragen bij de najaarsronde in 2016, waarbij het aangevraagde vermogen voor zonnestroomprojecten ongeveer 50% van het totaal besloeg (Rijksoverheid, Kamerbrief openstelling SDE+ 2016 najaar, 2016) (RVO, 2017a). Van het totale aangevraagde bedrag voor elektriciteitsprojecten (bestaande uit zon-PV, windenergie en waterkracht) is slechts 32% beschikt. Uiteindelijk werd maar 20% van het totale bedrag aan zonnestroomprojecten toegekend (Rijksoverheid, Kamerbrief Stand van zaken hernieuwbare energieproductie, 2017), goed voor minder dan 50% van het aangevraagde vermogen voor zonnestroomprojecten.

In de praktijk blijkt dat ook de projecten met een beschikking niet altijd worden gerealiseerd, bijvoorbeeld door veranderde rentes, veranderingen in de business case, en de noodzaak om de beschikking te hebben voordat een verdere uitwerking van het project kan plaatsvinden. Een aanvullend risico voor grote zonnestroomprojecten is dat in de SDE+-regeling vanaf 2016 geen SDE+-subsidie wordt betaald wanneer de spotprijs 6 uur of langer negatief is (RVO, 2017b). Bij een steeds groter aantal zonnestroomprojecten zal de mogelijkheid dat er negatieve prijzen ontstaan in de zomer steeds groter worden, wat een remmend effect kan hebben op nieuwe zonnestroomprojecten.

Wanneer er een goede business case bestaat voor zonnepanelen en er een onbeperkt budget beschikbaar is voor stimulering van deze techniek, kan de ontwikkeling snel gaan. Dit is goed te zien in Duitsland in de periode 2009-2012. In die periode is gemiddeld 7,5 GW/jaar aan extra vermogen geïnstalleerd (Fraunhofer ISE, 2017), goed voor circa 24 PJ/jaar aan zonnestroom. Wanneer dit wordt vertaald naar Nederland op basis van relatief inwonerstal, zou dit 5 PJ/jaar betekenen; op basis van landoppervlak is dit 2,7 PJ/jaar. Dit laatste is overigens maar 10% hoger dan de verwachtte stijging van zon-PV in de NEV2016 vastgesteld beleid in de periode 2023-2030.

Ondersteunen ontwikkeling grootschalige projecten

Gezien de hierboven genoemde cijfers lijkt het erop dat de belangrijkste barrière voor het uitvoeren van grootschalige zon-PV projecten voornamelijk de concurrentie binnen de SDE+ te zijn, waar een groot aantal zon-PV projecten uiteindelijk niet uitgevoerd kan worden omdat het budget niet toereikend is. Behalve het groter maken van het budget, kan ook gekeken worden naar manieren om het uitvoeren van een grootschalig zon-PV project goedkoper te maken. Barrières voor grootschalige projecten zijn op dit moment onder andere vergunningsprocessen, waarbij projectinitiatieven belemmerd worden door problemen met het bestemmingsplan of door het ontbreken van een ruimtelijk afwegingskader. Een voorbeeld hiervan is dat zonnepanelen worden gezien als stedelijke objecten, waardoor in niet-stedelijke gebieden aanvragen voor zonneparken worden afgewezen (Holland Solar, 2015). Niet alleen belemmeren dit type vergunningstrajecten de doorgang van projecten, ook verhogen ze de kosten in de voorfinanciering, wat voor meer risicovolle projecten voornamelijk problematisch is.

Een oplossing zou kunnen zijn om dit soort processen onder te loep te nemen en te stroomlijnen waar mogelijk. Ook kan er gedacht worden aan de centrale aanbesteding zoals dit gebeurt met wind op zee. Door van tevoren alle vergunningen voor een gebied te regelen en deze aan te bieden aan de laagste bieder, kunnen projecten mogelijk makkelijker en tegen lagere kosten (want minder risico) uitgevoerd worden. Zeker bij oppervlakten in handen van de overheid (gronden, maar ook civiele werken) kan dit een goede manier zijn om de snelheid van toepassing van grootschalige zonnestroomprojecten te verhogen.

Maatschappelijk draagvlak als aandachtspunt

Daarnaast is maatschappelijk draagvlak een belangrijk aandachtspunt. Zeker bij grotere parken kan maatschappelijke weerstand grote problemen opleveren voor het ontwikkelen van dergelijke parken. Een plan voor een zonnepark van 41 hectare bij Wirdum is bijvoorbeeld teruggetrokken na protest van een bewonersgroep (Trouw, 2017). Ook bij een zeer groot zonnepark in Groningen is na protest van omwonenden de vergunning (tijdelijk) ingetrokken (DVHN, 2017). Het ontbreken van maatschappelijk, en voornamelijk lokaal draagvlak kan dus een remmende werking hebben op de ontwikkeling van grotere zonnestroomprojecten.

Specifieke barrières voor de landbouw

De landbouw kan als sector zowel onder de kleingebruikers als grootgebruikersaansluitingen vallen. Bij kleingebruikers wordt de onzekerheid rond de salderingsregeling als belangrijke barrière gezien. Dit zal er toe kunnen leiden dat agrariërs kiezen om een kleiner aantal zonnepanelen neer te leggen, zodat ze minder terugleveren aan het elektriciteitsnet (ACRRES, 2016). Grootgebruikers zullen gebruik maken van de SDE+ en met een terugverdientijd van circa 10 jaar zou dit een sluitende case moeten opleveren.

Veldopstellingen bij agrariërs lijken een moeilijkere case te zijn door verschillende extra kosten: onderzoek naar de ondergrond, wijzigen van het bestemmingsplan, grondkosten en het eventueel verzwaren van de elektriciteitsaansluiting. Om eenzelfde terugverdientijd te realiseren als bij een dakopstelling is een SDE+ tarief nodig van circa 140 €/MWh.

Een oplossing hiervoor zou zijn om dergelijke vooronderzoeken financieel te ondersteunen (zeker wanneer sprake is van mogelijk grote zonneparken) of om slimme combinaties te zoeken met bestaande elektriciteitsinfrastructuur. Zo zou de afbraak van oude windturbine samen kunnen gaan met het opstellen van een nieuw zonnepark (aangezien de netaansluiting al aanwezig is). Maar ook agrariërs die werkende windturbines op hun land hebben staan kunnen mogelijk zonder veel meerkosten een zonnepark plaatsen, omdat wind en zon niet vaak tegelijkertijd veel energie produceren (ACRRES, 2016). Zo kunnen wind en zon een elektriciteitsaansluiting en kosten 'delen'. Ook zou het actief inzetten op het potentieel dat ontstaat bij het vervangen van asbestdaken een aanzienlijke versnelling van de toepassing op zonnestroom kunnen betekenen. Het actief benaderen en goed informeren van de agrariërs, het opstellen van voorbeeld business cases en het helpen met financiering zouden hierbij kunnen helpen (zie ook Bijlage B: Technisch potentieel zonnestroom).

Netaanpassing als aandachtspunt en randvoorwaarde
Tenslotte vraagt de lokale netinpassing en de integratie van zonnestroom in het gehele elektriciteitssysteem om speciale aandacht. In het buitengebied treedt in bepaalde regio's nu al congestie op als gevolg van pieken in het aanbod van zonnestroom, maar dit zal ook in meer stedelijke gebieden kunnen gaan spelen. Het decentrale karakter van zon-PV zal meer en meer vragen om afstemming met netbeheerders en andere prosumenten, op ad hoc basis of gereguleerd.

3.3.4 Ruimtelijke en financiële concurrentie andere technologieën

Op daken concurreert zon-PV om ruimte met bijvoorbeeld glazen daken/dakramen, buitenunits van ventilatie en warmtepomp, zonneboilers en groene daken. Voor toepassing van zon-PV op de grond, of geïntegreerd in infrastructurele werken, is het technische potentieel enorm groot. In de meeste studies voor PV-velden wordt de concurrentie met ander ruimtegebruik gemodelleerd door slechts een (beperkt) deel van het beschikbare areaal toe te kennen aan zon-PV. In (Ecofys/Shell (b), 2015) is dit bijvoorbeeld slechts 0,1 tot 2%. Uiteindelijk is veel oppervlak geschikt om zonnepanelen op toe te passen, zonder dat dit direct impact heeft op het gebruik van dat oppervlak. Ruimtelijk gezien is er een zeer groot potentieel om zon-PV toe te passen zonder dat dit grote impact heeft op andere vormen van duurzame energie of gebruik van dat oppervlak. Specifiek op daken van gebouwen is dit een belangrijk onderdeel. Esthetiek is hier een belangrijk aandachtspunt, maar met de ontwikkeling van steeds beter geïntegreerde zonnepanelen in daken en dakpannen, wordt dit niet als grote barrière gezien.

Zon-PV is vooralsnog in directe financiële concurrentie om stimulering met de meeste andere technieken die duurzame energie kunnen opwekken en komt in de SDE+-regeling pas in fase 3 aan de orde. De verwachting is dat de prijsdaling van zon-PV uit het verleden verder door zal zetten, maar uit onderzoek van Stichting Monitoring Zonnestroom (SMZ, 2016) blijkt dat de prijzen van zonnemodules vrijwel gelijk zijn gebleven tussen begin 2014 en begin 2016. Naast de moduleprijs kan echter ook verwacht worden dat op andere gebieden kostenbesparingen mogelijk zijn.

Zeker bij zonneparken zullen leereffecten optreden waardoor de prijzen voor dit soort projecten verder zullen dalen. Eén instrument is de uitrol van een tenderprocedure naar analogie van het vergunning/tender proces voor wind op zee in Denemarken en Nederland.

Experts verwachten dat zon-PV op korte termijn al in fase 2 of zelfs fase 1 van de SDE+ aan bod komt. In de Duits-Deense tender was de uitkomst ca. 54 €/MWh (20 jaar) voor een project in Denemarken (november 2016).

3.3.5 Inschatting van PLUS-marktpotentieel voor de jaren 2020, 2023 en 2030

Door het aanpakken van bovenstaande barrières kan er bovenop het BAU potentieel van 10 GW_p in 2030 (zie Bijlage A: BAU analyse per energiebron) meer zonnestroom gerealiseerd worden. Er zijn verschillende maatregelen mogelijk om de ontwikkeling van zonnestroom extra te stimuleren. Een selectie van mogelijke maatregelen:

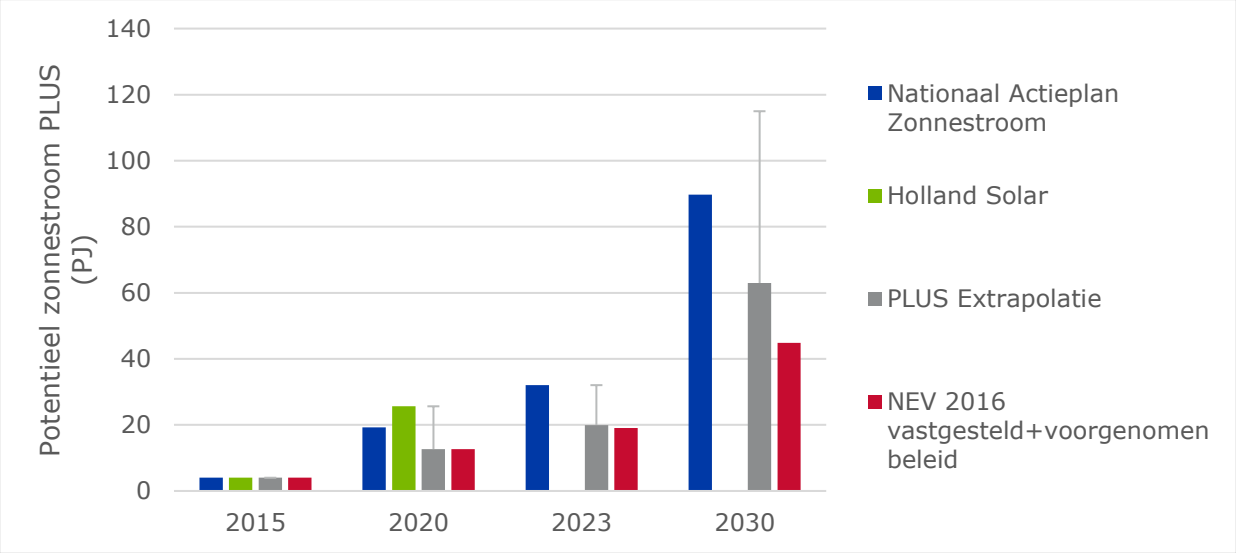
- Het wegnemen van onzekerheid rond de aanpassing van de salderingsregeling door duidelijkheid te geven voor het beleid op langere termijn (10 tot 15 jaar). Door deze onzekerheid kunnen potentiële kopers terughoudend zijn met de aanschaf. Deze onzekerheid is op te heffen door bijvoorbeeld van tevoren vast te stellen hoelang kopers van zonnepanelen mogen salderen en deze periode afhankelijk te maken van de verwachtte investeringskosten en opbrengsten in dat jaar. Hierdoor weten de kopers dat de panelen binnen een vastgestelde periode worden terugverdiend. Ook kan gedacht worden aan het maken van richtlijnen om de restwaarde van zonnepanelen te bepalen. Hierdoor is het duidelijker welke waarde de panelen behouden wanneer er na enkele jaren verhuisd wordt. Op dit moment is het onduidelijk wat de marktwaarde is van panelen die enkele jaren oud zijn.
- Het stimuleren van optimaal gebruik van dakoppervlak. Door het veranderen naar een feed-in tarief voor kleingebruikers kan het hele dak rendabel benut worden, ongeacht hun eigen gebruik.
- Stimuleren van goede financieringsconstructies voor aanschaf en opbrengsten van zonnepanelen. Dit kan bijvoorbeeld door meer leningen met zeer lage rente[5] beschikbaar te stellen voor de aanschaf van zonnepanelen en de mogelijkheid om zonnepanelen aan te schaffen op andere daken (ook buiten het huidige postcoderoosgebied).
- Stimuleren van grootschalige toepassing van zonnepanelen, bijvoorbeeld door afspraken met woningbouwcorporaties of het apart aanbesteden van zonnestroomlocaties binnen de SDE+, net zoals dit op dit moment gebeurd met offshore windprojecten.

Door middel van stimuleringsmaatregelen kan er een versnelling komen in de toepassing van zonnestroom. Een aantal studies heeft ook een projectie gegeven in het geval van aanvullend beleid of bij een snellere groei. Het is niet altijd duidelijk welke aanvullend beleid precies in deze studies wordt aangenomen. Deze studies geven wel een indicatie van het potentieel bij aanvullend beleid. Voor de ontwikkeling van het PV-vermogen is gekozen voor het extrapoleren van de versnelling van de jaarlijkse groei op basis van de procentuele verhoging in de periode 2012-2015.

[5] De rente is momenteel laag, maar kan in de toekomst weer toenemen.

Dit geeft een meer exponentiële groei dan de BAU groei die relatief lineair is. De potentiëlen in de zichtjaren zijn weergeven in de onderstaande grafiek.

Een bepalende factor in het realiseren van het zon-PV potentieel is de SDE+. Hoewel in voorgaande jaren zon-PV een marginale rol speelde, is zon-PV in het afgelopen jaar tot een meer significant onderdeel van het toegewezen budget gegroeid. De verwachting is dat in 2017 door het wegvallen van grotere projecten (zoals biomassa bijstook) zon-PV een flink groter budgetaandeel zal krijgen. De vraag is in welke mate deze projecten in de praktijk ook kunnen worden gerealiseerd (realisatiepercentage), aangezien waarschijnlijk ook meer risicovolle projecten nu wel toekenning van budget zullen krijgen. Daarnaast is de vraag in welke mate de markt de capaciteit heeft om jarenlang zeer hoge volumes zon-PV te kunnen plaatsen, omdat het steeds moeilijker zal worden om daar geschikte (en goedkope) locaties voor te vinden. Het is dus waarschijnlijk dat zon-PV meer budget toegewezen zal krijgen, maar in hoeverre dit dan leidt tot meer productie uit zon-PV is met veel onzekerheid omgeven.



Figuur 4 PLUS marktpotentieel voor zonnestroom in de zichtjaren (bovengrens PLUS extrapolatie 2030 geeft analyse aan op basis van bottom-up sectoranalyse, hieronder uitgewerkt).

Tabel 4 BAU en PLUS-marktpotentieel zon-PV (deze studie)

Potentiëlen (PJ finaal)	BAU / PLUS		Marktpotentieel			NEV vastgesteld + voorgenomen beleid		
Technologie/bron		2015	2020	2023	2030	2020	2023	2030
Zon-PV	BAU	4,0	12,2	17,5	32,3	12,7	19,1	44,8
	PLUS		12,7-25,6	20-32	70-119			

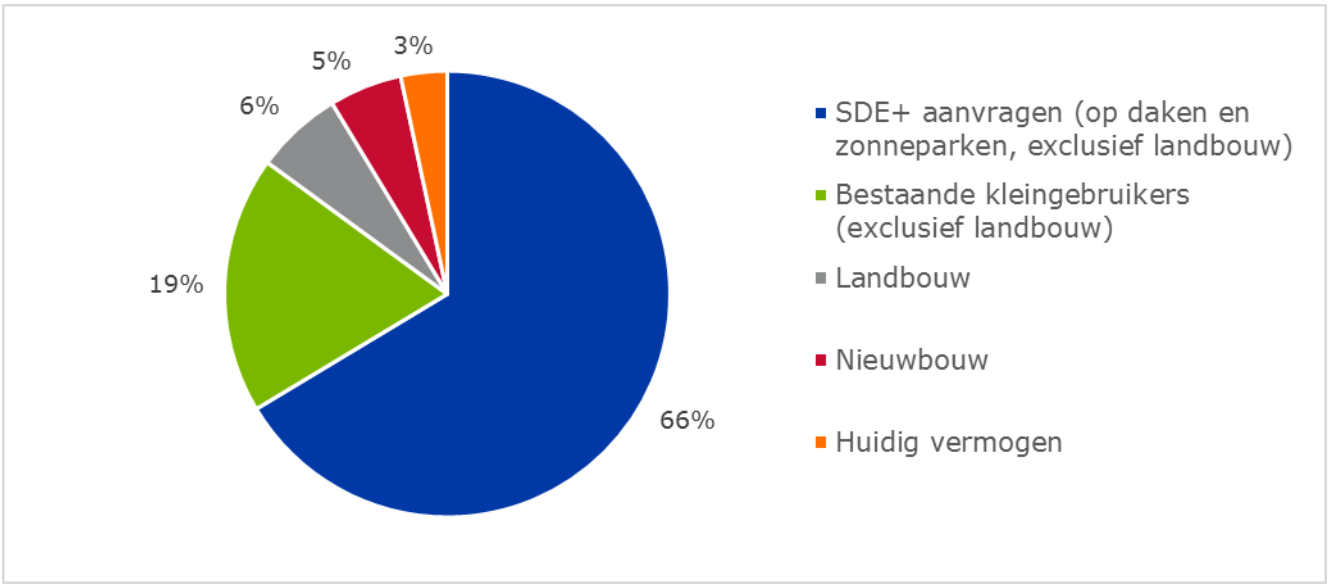
Het PLUS (hoge groei) scenario geeft voor de projectie van het Nationaal Actieplan Zonnestroom circa het dubbele aan potentieel in 2030 ten opzichte van het BAU (lage groei) scenario. Ook de extrapolatie is significant hoger in 2030 ten opzichte van het BAU scenario. Aanvullend beleid zou mogelijk kunnen zorgen voor een versnelde groei van zonnestroom in de orde van enkele PJ in 2030 ten opzichte van het huidig beleid.

Voor de tussenliggende jaren volgt het PLUS-marktpotentieel de NEV2016 vastgesteld+voorgenomen (NEVvv) projecties. Met name grootschaliger projecten (zonneparken) of asbest-eraf/zon-erop projecten in de landbouw kunnen een belangrijke versnelling van de realisatie van de potentiëlen teweeg brengen.

Bottom-up sectoranalyse

Om een indicatie te geven van de impact van de verschillende sectoren op het groeipotentieel is een sectoranalyse uitgevoerd. Op basis van de mogelijke ontwikkelingen in verschillende sectoren onder aanvullend beleid is een totaal potentieel in 2030 opgebouwd. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- Nieuwbouwwoningen zullen gemiddeld 3000 kWh per woning per jaar opwekken. Met circa 50.000 nieuwbouwwoningen per jaar levert dit circa 0,5 PJ per jaar op.
- Bestaande kleingebruikers: De groei van zonnepanelen minus SDE+ was de laatste jaren gemiddeld 270 MW per jaar, wat ongeveer 0,9 PJ aan energie oplevert. We nemen aan dat door aanvullend beleid deze groeisnelheid gemiddeld verdubbeld kan worden in de bestaande woningbouw, utiliteit en landbouw met een kleingebruikersaansluiting. Dit levert tot 2030 25 PJ op.
- Grootgebruikers: Grote oppervlaktes (utiliteit, industrie, landbouw, zonneparken) zullen gebruik maken van de SDE+. In 2016 is 4 PJ beschikt aan zon-PV. Experts verwachten dat de hoeveelheid beschikt budget voor zon-PV de komende jaren flink zal stijgen (zie hierboven). Ervan uitgaande dat de beschikte opwek de komende jaren gemiddeld zal verdubbelen van 4 PJ naar 8 PJ en dat hiervan 75% daadwerkelijk wordt gerealiseerd (wanneer enkele zonneparken niet doorgaan, kan dit een groot effect hebben op dit percentage), levert dit 6 PJ extra per jaar op. Dit geeft in totaal 84 PJ in 2030.
- Landbouw: De landbouw heeft als grootste potentieel het vervangen van asbestdaken, 30 PJ in totaal. Wanneer wordt uitgegaan dan hiervan 1/4e wordt ingezet om zonnepanelen op neer te leggen, heeft dit een potentieel van 7,5 PJ tot 2030. Deze 7,5 PJ valt echter onder de hierboven genoemde onderdelen van groot- en kleingebruikers. Deze onderverdeling is arbitrair gekozen op 1/3e kleingebruikersaansluitingen (2,5 PJ) en 2/3e SDE+ aanvragen (5 PJ).



Figuur 5 **Indicatieve verdeling van additioneel geïnstalleerd vermogen zon-PV in 2030 per sector**

Op basis van bovenstaande sectoranalyse is het aandeel van de verschillende sectoren in het PLUS potentieel in 2030 als weergegeven in bovenstaande figuur. Hierin is te zien dat veruit de grootste groei te danken is aan vermogen neergezet onder de SDE+ regeling. De mogelijkheden van inzet van zon-PV door middel van de SDE+ regeling is dus een zeer bepalende factor in de ontwikkeling van zon-PV.

4 Potentieel hernieuwbare warmte

Voor warmte/koude wordt de finale jaarlijkse energievraag als bovengrens voor de energetische potentiëlen aangehouden, aangezien warmte/koude niet eenvoudig en/of rendabel kan worden getransporteerd over grotere afstanden. Geproduceerde warmte(/koude) wordt lokaal geproduceerd en geconsumeerd. Warmte/koude is wel relatief eenvoudig op te slaan, waardoor nuttig gebruik over de seizoenen heen kan worden uitgesteld. Warmte en/of koude kan worden opgeslagen in aquifers, in (meestal ondergrondse) vaten/tanks, of in gesteente (voor hoge temperaturen). In combinatie met warmtepompen (of warmtewisselaars) is deze warmte en of koude op een later moment te benutten.

Voor bepaalde sectoren kan het potentieel in de loop der jaren afnemen, doordat de vraag naar warmte en/of koude afneemt als gevolg van energiebesparing of economische ontwikkelingen. Dit geldt met name voor de gebouwde omgeving. In deze studie gaan we uit van diverse vervangings- en nieuwbouw-scenario's waarin de ontwikkeling van de finale warmtevraag en de ruimte voor hernieuwbare warmte wordt gekarakteriseerd.

De volgende hernieuwbare energiebronnen/technologieën kunnen in Nederland worden ingezet voor productie van warmte en/of koude:

- Omgevingswarmte (in combinatie met warmtepompen, evt. in combinatie met seizoensopslag van warmte en/of koude)
    - Bodem
    - Lucht
    - Water
- Thermische zonne-energie
- Aardwarmte
- Bio-energie

Bio-energie wordt in een apart hoofdstuk behandeld omdat biomassa in meerdere energiedragers kan worden omgezet (elektriciteit, warmte, gas). Dit geldt ook voor aardwarmte, maar we veronderstellen dat de komende decade hoofdzakelijk warmteprojecten zullen worden ontwikkeld.

4.1 Omgevingswarmte

Het energetisch potentieel van warmte (en koeling) uit de bodem, buitenlucht of oppervlaktewater wordt beperkt door de finale vraag naar warmte/koeling in de verschillende eindverbruikerssectoren. De hernieuwbare energieproductie uit bodem en buitenlucht was 5,7 PJ in 2015. Hiervan is 64% (3,6 PJ) bodemwarmte en 36% (2,0 PJ) warmte uit de buitenlucht. De hernieuwbare energieproductie van bodemwarmte en buitenluchtwarmte wordt voor 70% (4,0 PJ) in de utiliteit gebruikt en voor 30% (1,7 PJ) in de woningbouw (CBS, 2016).

4.1.1 Toepassing van omgevingswarmte in verschillende sectoren

Omgevingswarmte kan toegepast worden in verschillende sectoren, maar kan het meest efficiënt gebruikt worden op lagere temperaturen. De efficiëntie van warmtepompen is namelijk direct gerelateerd aan het te overbruggen temperatuurverschil. Aangezien de buitenlucht, bodem en oppervlaktewater relatief lage temperaturen hebben (tussen de -10°C en 25°C, waarbij beide extremen voornamelijk door de buitenlucht worden gehaald), betekent dit dat temperaturen van enkele tientallen graden hoger het meest voor de hand liggen.

In de industrie is er beperkte vraag naar dit soort temperaturen. Industriële warmtepompen gebruiken vrijwel altijd restwarmte als bron (RVO, 2015). Hier is de toepassing voor warmtepompen interessant voor hergebruik van warmte uit de processen, maar niet voor het toepassen van omgevingswarmte. Industriële processen met lagere temperaturen zoals droogprocessen kunnen wel interessant zijn, hoewel in sommige gevallen hier interne restwarmte voor gebruikt kan worden. In de glas- en tuinbouw is er wel vraag naar lagere temperatuur warmte van circa 60 °C, waardoor de toepassing van omgevingswarmte hier interessanter is. Echter is er in deze sector in het verleden veel geïnvesteerd in WKK's die in de warmtevraag voorzien. Ook is de terugverdientijd hoog (tussen de 6 en 20 jaar) in deze sector (KEMA, 2012). De totale warmtevraag in de glas- en tuinbouw is circa 70 tot 80 PJ en (CE Delft, 2015) schat de potentie van warmtepompen in de glastuinbouw in de zichtjaren 0,2% van de warmtevoorziening in 2020, 1,2% in 2023 en 4,8% in 2030.

Er zijn verschillende studies die een inschatting geven voor de installatiesnelheid van warmtepompen in de gebouwde omgeving in de komende jaren. Verschillende organisaties, waaronder de Dutch Heatpump Association (DHPA), RVO en Berenschot hebben rapportages gemaakt over de mogelijke ontwikkeling van de markt voor warmtepompen. Het is in deze rapportages niet altijd duidelijk waar de verwachtte ontwikkeling vandaan komt en de benodigde versnelling die nodig is voor de verwachting van de DHPA rapportage lijkt nog niet te zijn ingezet. Een verdere analyse van de verschillende sectoren is te vinden in 'Bijlage C: Toepassing omgevingswarmte'.

4.1.2 Model voor potentieel omgevingswarmte

De keuze voor een bepaald soort verwarmingsmethode wordt gedaan op basis van verschillende afwegingen, zoals aanschafprijs, mogelijke aansluitingen van energie (gas, elektriciteit, stadsverwarming), temperatuurniveau, gebruikskosten en wet- en regelgeving. Deze afweging wordt vrijwel altijd per gebouw of per gebied gemaakt (en niet centraal geregeld of verplicht). Door verschillen in afwegingskader zullen verschillende gebouwen en gebieden andere afwegingen maken met betrekking tot de verwarmingsmethode.

De potentiëlen van omgevingswarmte zoals deze genoemd in de hierboven genoemde studies lijken gezien de huidige ontwikkelingen tamelijk optimistisch. Om een inschatting te maken van het BAU- en PLUS-marktpotentieel zal daarom gebruik worden gemaakt van een model voor kwantificering van energiescenario's in de gebouwde omgeving. Dit model is onder andere toegepast in het rapport 'Systeemkosten van warmte voor woningen' (Ecofys/ECN, 2015). In dit model worden ontwikkelingen in vijf woningentypen (tussenwoning, hoekwoning, flat, twee-onder-een-kap en vrijstaand) gemodelleerd op basis van de huidige woningvoorraad en verwachtte ontwikkelingen. Hierbij worden verschillende mate van isolatie (laag, midden en hoog) en verschillende methode van warmteopwekking tussen de woningtypen onderscheiden. Ook worden realistische sloop en renovatiesnelheden meegenomen om de toekomstige woningvoorraad te modelleren. In een extra module wordt ook de utiliteit gemodelleerd (rapport 'Kwantificering van toekomstscenario's voor de gebouwde omgeving', (Ecofys, 2016)). Het model is geüpdatet en aangepast om tot de juiste inschatting van het potentieel van omgevingswarmte (uit bodem, buitenlucht en/of water) te komen. Voor het benutten van omgevingswarmte in de gebouwde omgeving zijn in bijna alle gevallen warmtepompen nodig omdat de aanlevertemperatuur verschilt van de in gebouw of proces gewenste temperatuur.

In deze paragraaf maken we nog geen onderscheid tussen de verschillende bronnen van omgevingswarmte, onder andere omdat literatuur over de potentiëlen ontbreekt. Luchtwarmtepompen worden nu het meest ingezet, door lagere investeringskosten en omdat benutting van bodemwarmte niet altijd mogelijk is voor bestaande bouw. Voor nieuwbouw zal het waarschijnlijker eenvoudiger blijken te zijn om de bodem of oppervlaktewater als bron te gebruiken.

Een deel van de warmtevraag wordt gedekt door omgevingswarmte, en de hoogte van deze afdekking geeft het marktpotentieel aan. De resterende vraag wordt ofwel gedekt door aardgas/bio-methaan, door stadsverwarming of elektrische bijstook. Het verduurzamen van het warmte-aanbod voor stadsverwarming zal kunnen gebeuren met behulp van biomassa, of met aardwarmte.

4.1.3 Prognose van kostprijs in de zichtjaren (range)

De (meer)kosten van de verschillende technologische opties zijn niet eenduidig te bepalen, omdat meerdere aspecten kunnen worden meegenomen:

- Vanaf 2020 dient alle nieuwbouw (bijna) energieneutraal te zijn, en dient de resterende energie in belangrijke mate uit hernieuwbare bronnen te komen.
- Naast investeringen in de warmte-opwek (gasketel, biomassa-ketel, warmtepomp, stadsverwarming, etc.) zijn veelal ook investeringen in de gebouwschil nodig (isolatie) en in de lokale en landelijke energie-infrastructuur (energienetwerken). In de bijlagen van (Ecofys/ECN, 2015) worden deze kostencomponenten en hun ontwikkeling in de tijd beschreven. Als voorbeeld: het isoleren van een rijtjeswoning van laag naar nul-op-de-meter vraagt een investering van ca. € 19.000; een hybride-, lucht-, of bodem-warmtepomp kost €5.000, €9.000 en €15.000, respectievelijk.

4.1.4 Overzicht van barrières (en kansen) en gevolgen voor beleid

Op dit moment zijn er twee belangrijke beleidsmaatregelen die het toepassen van warmtepompen stimuleren. Dit zijn aan de ene kant de Energie Prestatie Coëfficiënt (EPC) die een warmtepomp vaak gunstiger beoordeelt dan een gasketel. Daarnaast is er subsidie voor zowel lucht-, bodem- en hybridewarmtepompen te verkrijgen door middel van de ISDE regeling. Dit zorgt voor lagere netto investeringskosten van beide technieken. De ISDE regeling voorziet een subsidie van tussen de 15% en 50% van de aanschafkosten, waarbij de hogere percentages vooral worden gehaald bij hybride warmtepompen. RVO is samen met het CBS op dit moment bezig met een vertaling te maken van de verkoopaantallen naar de hoeveelheid opgewekte duurzame energie. Hierdoor is de vertaling van de ISDE naar de additionele hernieuwbare energie door warmtepompen niet eenvoudig te maken. Er is wel een stijgende trend te zien in de aanschaf van warmtepompen via de ISDE in 2017 ten opzichte van 2016.

Beperkt kennisniveau consumenten en installateurs
Een analyse van de belangrijkste barrières bij het toepassen van (hybride) warmtepompen (Berenschot, 2017) geeft als één van de belangrijkste barrières het kennisniveau van zowel consumenten als van installateurs. Het huidige kennisniveau van consumenten rond het energiesysteem en de manieren om in hun warmtevraag te voorzien is beperkt. De gemiddelde consument zal hierdoor niet snel naar een warmtepomp vragen of terugschrikken voor de (perceptie van) hoge meerkosten. Ook wordt genoemd dat het kennisniveau van installateurs slecht ontwikkeld is. Om dit op te lossen dienen installateurs meer ervaring op te doen met warmtepompen en de noodzaak ervaren om zich meer in warmtepompen te verdiepen.

Onvoldoende prikkel voor energiebesparing bestaande bouw
Daarnaast is er in de bestaande bouw onvoldoende een prikkel om energie te besparen. Dit wordt nauwelijks wettelijk afgedwongen en behalve subsidie en lagere energiekosten is er ook geen fiscale prikkel die dit verder stimuleert. Terwijl juist de bestaande bouw een enorm potentieel heeft voor de inzet van duurzame energie door warmtepompen. Het inzetten op slimme vervangingsmomenten (zoals vervanging van de CV-ketel) kan hierbij de inzet van warmtepompen versnellen. Een hybride warmtepomp kan in veel gevallen direct worden toegepast maar zorgt ook voor minder toepassing van hernieuwbare energie dan een normale warmtepomp. Maar het is in de bestaande bouw vaak noodzakelijk om verschillende extra maatregelen te nemen, zoals extra isolatie en de aanleg van een lage-temperatuur verwarmingssysteem. Dit zorgt door de hoge investeringskosten en de relatief lange terugverdientijd voor een aanzienlijke barrière voor de adoptie van warmtepompen. Een verdere verschuiving van de belasting op elektriciteit naar belasting op aardgas kan helpen om deze barrière te verlagen (Universiteit Utrecht, 2015).

Nieuwbouw met gasketel blijft voorlopig goedkoper qua investeringskosten
Voor de nieuwbouw geldt dat op dit moment ontwikkelaars een afweging maken tussen besparing en hernieuwbare opwekking van energie om te voldoen aan de EPC-eis. Een warmtepomp is 3 (lucht) tot 6 (bodem) keer zo efficiënt als een gasketel en daarmee zal het energiegebruik van het te ontwikkelen gebouw sterk afnemen. In de EPC wordt echter gerekend op basis van primaire energie, die een correctie maakt voor de energie die nodig is om de elektriciteit in een elektriciteitscentrale op te wekken. Omdat de gekozen warmtepompen in de scenario's op elektriciteit werken, neemt het voordeel hierdoor sterk af met een factor van circa 2,5.

Met de verdere verduurzaming van de (centrale) elektriciteitsproductie zal de totale energie-efficiëntie echter groter worden. Maar luchtwarmtepompen worden op dit moment nauwelijks beter gewaardeerd dan gasketels. Dit is een belangrijke barrière om een warmtepomp toe te passen, aangezien de investeringskosten voor een gasketel lager zijn en er dus relatief weinig voordeel behaald kan worden in de EPC-berekening. Het aanpassen van deze berekening of het gunstiger meenemen van warmtepompen kan de toepassing in nieuwbouw versnellen.

Zeker in grootschalige nieuwbouwprojecten zijn ontwikkelaars gewend om de bouwkosten te minimaliseren. De huidige EPC-eis (0,4) is voor veel type woningen nog redelijk goed te behalen met een goed ontwerp en eventueel een aantal extra zonnepanelen. Dit is in veel gevallen een goedkoper alternatief dan het installeren van een warmtepomp. Terwijl de toepassing van warmtepompen in nieuwbouw een stuk eenvoudiger is dan de bestaande bouw, omdat het ontwerp kan worden aangepast (aandacht voor goede isolatie, lage-temperatuur vloerverwarming, tapwater voorraadvat). In 2021 gaat de EPC eis over naar een norm voor Bijna Energieneutrale Gebouwen (BENG). In deze normering zijn aparte eisen aangebracht voor maximale energiebehoefte, fossiel gebruik en minimale toepassing van hernieuwbare energie. Ook binnen deze normering is het goed mogelijk om een gasketel toe te passen, dit dient wel gecompenseerd te worden door bijvoorbeeld ventilatie met warmteterugwinning en meer zonnepanelen. De indicatieve meerkosten voor een BENG tussenwoning met een gasketel blijven echter circa €10.000 lager dan een vergelijkbare woning met een bodemwarmtepomp. Hierdoor blijft er een belangrijke prikkel voor ontwikkelaars om niet over te stappen op warmtepompen, maar met gasketels te blijven ontwikkelen.

Lage energiekosten utiliteit
In de utiliteitsbouw is er vaker sprake van grootgebruikers, die een veel lager energietarief (door lagere energiekosten en lagere energiebelasting) hebben. Daardoor zijn veel besparingsmaatregelen minder snel rendabel. Ook kan de BTW in veel gevallen afgetrokken worden. Eind 2016 heeft de overheid aangegeven dat kantoren vanaf 2023 geen label lager dan C mogen hebben (Rijksoverheid, 2016), wat een enorme versnelling van de renovatie van de utiliteitssector zou kunnen betekenen. Maar dit kan behaald worden met energiebesparingsmaatregelen (betere isolatie, energiezuinige verlichting, efficiëntere gasketel), waardoor hernieuwbare opwek niet per se noodzakelijk is (Rijksoverheid.nl, 2016). Ook is onlangs door het Financieel Dagblad onderzocht dat in veel kantoorpanden deze maatregelen niet rendabel zijn, omdat door leegstand en slechte locatie het al lastig is voor de eigenaren om huurders te vinden (Financieel Dagblad, 2017).

Goede installatie is een aandachtspunt
Geluidsproductie, trillingen en esthetiek zijn een punt van aandacht maar vormen geen wezenlijke barrière voor een grootschalige uitrol van warmtepompen. Echter kunnen fouten op dit gebied snel leiden tot een negatief beeld van consumenten tegenover deze technologie.

4.1.5 Luchtwarmte, bodemwarmte of warmte/koude uit water

In deze studie wordt bij benutting omgevingswarmte vooral uitgegaan van benutting van lucht- en bodemwarmte. Onttrekking van warmte/koude uit oppervlaktewater - al dan niet in combinatie met warmte/koude opslag - biedt een aanzienlijk potentieel van hernieuwbare energie. In de eerder genoemde studie (Ecofys, NWP, & Blueconomy, 2014) en door (UvW/IF, 2016) zijn inschattingen gemaakt van dergelijke potentiëlen.

De technische potentiëlen zijn gigantisch (zie Tabel 5), maar ook de economische of maximaal realiseerbare potentiëlen zijn significant en worden voornamelijk beperkt door de warmtevraag in de gebouwde omgeving.

Tabel 5 Lange-termijn energiepotentieel voor warmte/koude-productie uit water (literatuur)

Warmte/koude	**2015[a]** (in PJ)	**Lange-termijn potentiëlen[b,c]** (in PJ)			
		Theoretisch	Technisch	Maximaal realiseerbaar	Marktpotentieel 2035
Temp.verschil met opp. water[b]	0	1200	20	10	0,1 – 0,7
Warmte-/koude-opslag[b]	3,6	1200	960	290	17-35
Warmte[c] (met opslag) • waterlopen en plassen • gemalen	 0 0	 20.000 9	 90 7	Economisch winbaar 35 5	
Koude[c] (met opslag) • waterlopen en plassen • diepe plassen • gemalen	 0 0 0	 28.000 4 12	 120 4 8	Economisch winbaar 1 2 1	
Totaal	**3,6**	**420-500[d]**	**420-500[d]**	**(40-) 300**	**17-35**

[a] (CBS, 2016) [b] (Ecofys, NWP, & Blueconomy, 2014) [C] (UvW/IF, 2016)

[d] Maximale warmtevraag in de gebouwde omgeving in de periode 2015-2030 (ECN/PBL/CBS/RVO, 2016)

Opmerking: De potentiëlen voor warmte/koude zijn deels overlappend.

Het totale potentieel voor warmte/koude uit water is aanzienlijk groter (tot ca. 30 PJ) en wordt beperkt door de finale warmtevraag en de concurrentie met andere (hernieuwbare) warmtebronnen.

In de Nederlandse Antillen zou *Sea Water Air Conditioning (SWAC)* een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan een verduurzaming van de koude-voorziening voor bijvoorbeeld hotels of utiliteitsgebouwen. Voor Curaçao wordt hier al meer dan 15 jaar over gesproken. Hoewel de relatieve bijdrage op deze eilanden hoog kan zijn (b.v. van een 10 MW systeem), is de bijdrage aan het totale Nederlandse potentieel miniem.

4.1.6 Ruimtelijke en financiële concurrentie andere technologieën

Warmtepompen worden binnen gebouwen geïmplementeerd. De ruimte binnen gebouwen is beperkt, maar een warmtepomp zal niet significant meer ruimte innemen dan een alternatieve verwarmingsmethode (zoals een gas- of biomassa-ketel). Bij bodem- of oppervlaktewater-warmtepompen is er wel sprake van ruimtelijke concurrentie in de ondergrond. De leidingen en watermassa's in de ondergrond die nodig zijn voor open of gesloten bodembronnen kunnen met elkaar conflicteren wanneer deze bij elkaar worden geplaatst. Zeker bij gebouwen met een relatief klein grondoppervlak en een hoog gebruik kan dit problematisch zijn, zoals bij hoogbouw of stedelijke gebieden. Wanneer bijvoorbeeld warme en koude bronnen te dicht bij elkaar liggen, gaat de werking van het systeem gedeeltelijk verloren doordat de warmtebron afkoelt en de koudebron opwarmt. Luchtwarmtepompen hebben geen of een minimale directe ruimtelijke concurrentie met andere technieken.

De concurrentie op financieel gebied bevindt zich op het gebied van technieken die ook voor verwarming in gebouwen kunnen zorgen, waaronder de gasketel en biomassaketels. Op dit moment zijn vooral gasketels een belangrijke concurrent voor warmtepompen, door de lage investeringslasten en relatief lage exploitatielasten. Een warmtepomp is qua investering circa 5 tot 10 keer zo duur. De belangrijkste concurrenten zijn echter de bodem/water- en luchtwarmtepomp onderling. De woningen die zuinig genoeg zijn om een warmtepomp te installeren en die lage temperatuurverwarming hebben, kunnen of een luchtwarmtepomp of een bodemwarmtepomp installeren. De luchtwarmtepomp is goedkoper (circa een factor 2) maar minder efficiënt en daardoor duurder qua energiegebruik. Een bodemwarmtepomp vraagt hogere investering en meer ruimtelijke inpassing doordat er een leiding in de bodem geboord moet worden.

Uit een recente rapportage van adviesbureau DWA in opdracht van netbeheerder Stedin bleek dat in de nieuwbouw in een groot deel van de woningtypen er rendabel een warmtepomp toegepast kon worden (DWA, 2016). Bij renovaties zijn er vaak veel meer onderdelen die aangepakt moeten worden (nieuwe kozijnen en ramen, verbeterde isolatie, nieuw warmteafgiftesysteem).

4.1.7 Inschatting van PLUS-marktpotentieel voor de jaren 2020, 2023 en 2030

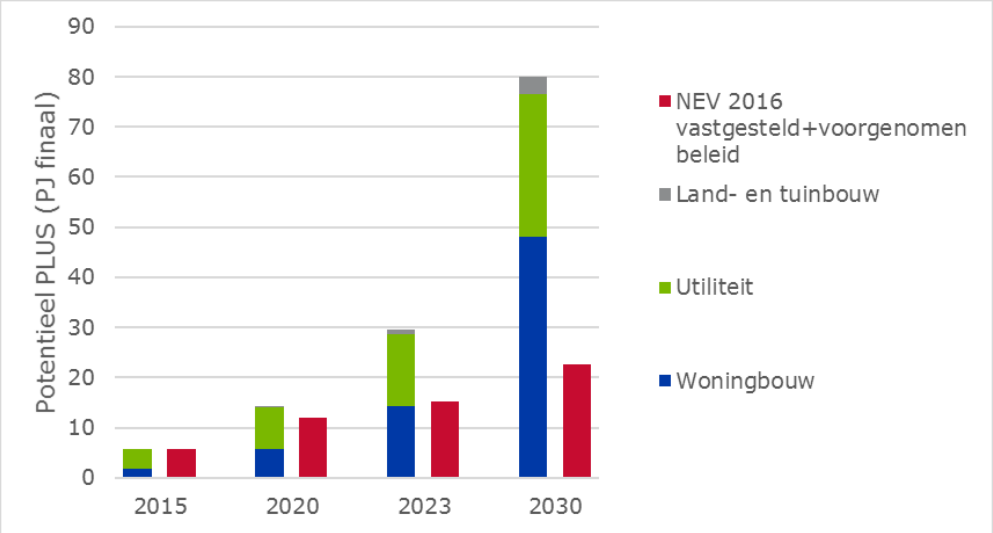
Met aanvullende beleid kan het gebruik van omgevingswarmte/warmtepompen gestimuleerd worden. Het effect dat dit beleid op het potentieel heeft is sterk afhankelijk van welke stimulansen met dit beleid samen gaan. Om een maximaal potentieel voor aanvullend beleid te identificeren is uitgegaan van de volgende aannames:

- Beleidsaanname 1: Er worden afspraken gemaakt over een verhoging van de renovatiesnelheid van woningen met lage energetische kwaliteit. Uitgegaan wordt van een hogere renovatiesnelheid tot 2030 (10% tot 2020, i.p.v. 9% BAU, 25% tussen 2020 en 2030 i.p.v. 20% BAU)[6].
- Beleidsaanname 2: Een uitgangspunt van de rijksoverheid is de afhankelijkheid van aardgas te verminderen. Het eenvoudigst is dit uit te voeren in nieuwbouwwoningen en utiliteit. Uitgangspunt voor het plus-marktpotentieel is een verbod op aansluiten van nieuwbouw op aardgas vanaf 2020. Dit betekent dat alle woningen die niet op stadsverwarming worden verwarmd, met warmtepompen worden verwarmd[7] (en/of met biogas/bio-methaan).
- Beleidsaanname 3: Ook in renovatie kan de afhankelijkheid van aardgas verminderd worden door warmtepompen verder te stimuleren. Naast de ISDE subsidie, waarvan wordt aangenomen dat deze langzaam afgebouwd wordt in de zichtjaren, worden de tarieven voor een gasaansluiting verhoogd en komt er een verplichting op een minimaal percentage van woningen en utiliteit die bij een grootschalige renovatie van het aardgas af moeten. De grote ontwikkelaars en woningcorporaties mogen onderling beslissen welke woningen en utiliteit beter op het aardgas kunnen blijven en welke woningen en utiliteit beter naar een andere manier van verwarmen kunnen. Dit leidt ertoe dat in 2030 van de gebouwen met isolatieniveau ‘midden’ circa 20% een warmtepomp heeft en bij isolatieniveau ‘hoog’ 55% met een warmtepomp wordt verwarmd.

[6] In Bijlage A: BAU analyse per energiebron staan de aannames voor de berekening van het BAU-marktpotentieel beschreven.
[7] Hierbij wordt verondersteld dat de business case bij vrijwel alle nieuwbouwwoningen voor een warmtepomp gunstiger is dan andere vormen van verwarming, en wanneer dit niet het geval is er aanvullende stimuleringsregelingen aanwezig zijn, zoals subsidiëring.

Bovenstaande beleidsaannames kunnen als fors worden beschouwd ten opzichte van huidig beleid. Door de combinatie met maatregelen aan de gebouwschil (met typische levensduren van 25-40 jaar) heeft deze aanpak wel een veel langere doorwerking. Wanneer wordt gekozen voor hetzelfde type beleid, maar dan in afgezwakte vorm (bijvoorbeeld meer stimuleren van warmtepompen in nieuwbouw, in plaats van verplichten om geen aardgas meer aan te sluiten) zal het potentieel substantieel lager zijn dan bij de hierboven genoemde 'strenge' maatregelen. Het afgezwakte potentieel wordt ingeschat op circa 50% van het maximale potentieel (bovenop het BAU-potentieel).

Op basis van bovenstaande uitgangspunten is het PLUS-marktpotentieel berekend voor de zichtjaren 2020, 2023 en 2030. Hierbij is het BAU potentieel van land- en tuinbouw op basis van de (CE Delft, 2015) studie opgeteld.



Figuur 6: PLUS marktpotentieel hernieuwbare warmte/koude uit bodem-, buitenlucht en oppervlaktewater

Net zoals bij het BAU-potentieel is hernieuwbare warmte uit buitenlucht, oppervlaktewater en bodemwarmte in hoge mate uitwisselbaar en in directe concurrentie met elkaar. Lokale omstandigheden bepalen welke technologie de voorkeur heeft.

Tabel 6 BAU en PLUS-marktpotentieel omgevingswarmte (deze studie)

Potentiëlen (PJ finaal)	BAU / PLUS		Marktpotentieel			NEV vastgesteld + voorgenomen beleid*		
Technologie/bron		2015	2020	2023	2030	2020	2023	2030
Woningen	BAU	1,7	3,4	6,1	16,8			
	PLUS		5,7	14,2	48,0			
Utiliteit	BAU	4,0	7,7	9,9	14,9			
	PLUS		8,4	14,4	28,4			
Industrie	BAU	0	0	0	0			
	PLUS							
Landbouw	BAU	0	0,1	0,5	1,8			
	PLUS		0,2	0,9	3,6			
Totaal omgevingswarmte	BAU PLUS	5,7	11,2 14,3	16,4 29,5	33,5 80,0	11,9	15,2	22,6

*NEV geeft geen opsplitsing per sector

Stadsverwarming: maximum potentieel voor aardwarmte of bio-energie
Een gedeelte van de potentie voor warmtepompen wordt 'geblokkeerd' door aansluitingen op het warmtenet (deze woningen en utiliteit zullen gebruik maken van collectieve warmte in plaats van warmtepompen). Een uitgebreide studie van ECN heeft de huidige warmtevraag van aansluitingen op stadsverwarming in kaart gebracht (ECN, 2015). Voor 2013 was dit 11,5 PJ. De inschatting voor 2015 betrof circa 11,8 PJ. De hoeveelheid warmte die door stadsverwarming toegepast wordt in de toekomst is afhankelijk van twee veranderingen: het energiezuiniger maken van bestaande aansluitingen (minder afname van warmte) en het aansluiten van bestaande of nieuwbouw woningen (meer afname van warmte). Op basis van (BAU) projecties van het energiezuiniger maken van de bestaande woningvoorraad die op stadsverwarming is aangesloten en het te verwachten aantal nieuwe aansluitingen wordt een afname van warmte van circa 12 PJ verwacht in 2020 en 2023 en circa 12,8 PJ in 2030. In 2030 is er een additionele vraag van circa 3,1 PJ door nieuwe aansluitingen op het stadsverwarmingsnet ten opzichte van 2015, maar dit wordt dus grotendeels gecompenseerd het energiezuiniger maken van de bestaande aansluitingen.

In een PLUS scenario kan gekozen worden voor meer aandacht voor stadsverwarming, zodat warmtevoorziening in de gebouwde omgeving sneller centraal verduurzaamt kan worden. Dit kan bijvoorbeeld door meer locaties aan te wijzen voor stadsverwarming, het samenkomen van actoren te faciliteren en de businesscase voor warmteproducenten te ondersteunen. Ook kan gekeken worden naar het overhevelen van de infrastructuur naar een netbeheerder zoals dat ook voor aardgas en elektriciteit het geval is. Hierdoor worden de kosten voor infrastructuur aanzienlijk verlaagt, wat investeringen door warmteleveranciers een stuk overzichtelijker maakt. Wanneer de aanname wordt gemaakt van een dubbele aansluitingssnelheid ten opzichte van het BAU scenario uit het ECN onderzoek, wordt de geprojecteerde potentieel voor stadsverwarming 13,6 PJ in 2020, 14,1 PJ in 2023 en 16,4 PJ in 2030.

Bij een meer voortvarende inzet om de woningbouw van het aardgas af te halen kan er tot een veel grotere afdekking van de vraag gekomen worden. PBL heeft berekend dat wanneer de belasting op aardgas stapwijs verhoogd wordt met 1,5 euro per kubieke meter richting 2050 (ongeveer 6 keer meer dan de huidige belasting op aardgas), dit zou kunnen leiden tot een warmtevoorziening van 50 PJ door middel van stadsverwarming in 2030 (PBL, 2017). Vergelijkend met het huidig aantal aansluitingen en het gebruik daarvan, zou dit indicatief betekent dat circa 1.500.000 huishoudens aangesloten zouden moeten worden aan een warmtenet (waarbij nog geen rekening wordt gehouden met eventuele energiebesparing). Dat staat gelijk aan circa 100.000 woningen per jaar.

4.2 Thermische zonne-energie

Met zonnecollectoren is een medium (water, lucht) te verwarmen wat kan worden ingezet voor verwarming van gebouwen, het bereiden van warmtapwater, of als proceswarmte in de industrie of de landbouw (b.v. ten behoeve van het drogen van producten). In principe is zonnewarmte ook in te zetten voor ruimteverwarming in de gebouwde omgeving, maar door een mismatch van opwek (grotendeels in de zomer) en gebruik (grotendeels in de winter) is de toepasbaarheid hiervan beperkt. In de afgelopen jaren is er sprake geweest van een zeer beperkte ontwikkeling van het gebruik van thermische zonne-energie met een productie van 1 PJ in 2010 tot 1,1 PJ in 2015 (ECN/PBL/CBS/RVO, 2016). Dit is gedeeltelijk te wijten aan het uit bedrijf nemen van oude installaties, in 2015 ging dit circa om 3.300 installaties (Solar Solutions, 2017).

In een BAU scenario wordt in de nabije toekomst door verschillende partijen een beperkte stijging van zonnewarmte voorzien. Zowel de NEV (ECN/PBL/CBS/RVO, 2016), Holland Solar (Holland Solar, 2015) en de versnellingstafels voorzien bij het huidige beleid een stijging van naar circa 2 PJ in 2020. Dat is bijna een verdubbeling van de huidige opwek, maar in absolute termen een beperkte stijging.

4.2.1 Technisch potentieel voor thermische zonne-energie

Er is in verschillende sectoren een groot technisch potentieel voor thermische zonne-energie. In de woningbouw zou elke woning gedeeltelijk gebruik kunnen maken van thermische zonne-energie. Door de mismatch van productie in de zomer en voornamelijk gebruik van warmte in de winter is dit in de orde van besparing van 100 tot 300 m3 aardgas per jaar besparen (Milieucentraal, 2016). Voor alle woningen in Nederland is dit een technisch potentieel van circa 52 PJ. Echter is de terugverdientijd op dit moment lang (zelfs inclusief ISDE meer dan 15 jaar), wat toepassing in de praktijk sterk beperkt. In de utiliteitsbouw is de toepasbaarheid van zonneboilers, behalve in specifieke sectoren met hoog warm water gebruik zoals zwembaden, relatief beperkt. In de landbouw en industrie kunnen zonneboilers veel warmtevraag afdekken, maar doordat deze sectoren met veel lagere warmtekosten te maken hebben dan de woningbouw, is hier de businesscase vrijwel niet haalbaar door de hoge investeringskosten en de beperkte kostenreductie. Een verdere uitwerking van het technisch potentieel van thermische zonne-energie staat in ‘Bijlage E: Thermische zonne-energie per sector‘

4.2.2 Overzicht van barrières (en kansen) en gevolgen voor beleid

Businesscase/terugverdientijd belangrijkste barrière
Technisch gezien zijn er weinig barrières om een groot potentieel uit zonnewarmte in te kunnen zetten. De belangrijkste barrière is financieel, waarbij er lastig te concurreren is met een fossiel alternatief. In de woningbouw is er sprake van zeer lange terugverdientijden, zelfs met de huidige ISDE voor zonneboilers. In de landbouw en industrie zijn lage verwarmingskosten en lastige financierbaarheid van projecten een belangrijke barrière om zonnewarmte toe te passen (Holland Solar, 2015). In bepaalde sectoren van utiliteit en industrie bestaan er wel mogelijkheden om kosteneffectief zonnewarmte toe te passen, maar het totale potentieel is hier beperkt in de orde van enkele PJ.

Beperkte impact extra realisatie d.m.v. ISDE
Kansen voor het stimuleren van zonnewarmte in de utiliteit, landbouw en industrie liggen in het verhogen van de belasting op gas, meer constructies om investeringskosten af te kunnen trekken (bijvoorbeeld EIA) en aparte financiering via de SDE+. Op dit moment is er met de ISDE al een ruime subsidieregeling voor zonneboilers beschikbaar. Echter zorgt dit in de woningbouw niet voor een sluitende businesscase. Het totale budget voor alle technieken binnen de ISDE is € 70 miljoen in 2017. Indien dit allemaal naar zonneboilers zou gaan, zou er circa 0,4 PJ extra zonnewarmte per jaar worden toegevoegd. Tot 28 februari 2017 is er al € 10 miljoen van dit budget geclaimd. Ondanks een hogere subsidie voor zonneboilers in 2017 is hiervan maar circa 10% voor zonneboilers geclaimd. Ook in 2016 werd slechts een klein percentage voor zonneboilers geclaimd. Indien deze 10% over de rest van 2017 gelijk blijft zal er dus 0,04 PJ aan zonneboilers toegevoegd worden in 2017, ver onder het noodzakelijke extra opwek om tot 2 PJ in 2020 te komen.

Een optie zou zijn om het budget voor de ISDE te verhogen, maar gezien het feit dat het budget in de eerste maanden niet meteen volledig geclaimd wordt, lijkt het er niet op dat een hoger budget ook zal lijden tot substantieel meer aanvragen.

Beperkte impact en rentabiliteit gebouwde omgeving
In woningen kunnen zonneboilers ruwweg de helft van de energie voor de productie van warmtapwater besparen. Zelfs met de huidige subsidie is de terugverdientijd van zonneboilers (voor huishoudens) ver boven de 15 jaar. (PBL, 2012) voorziet zelfs in 2050 in de gebouwde omgeving geen rendabel potentieel voor thermisch zonne-energie op gebouwen. In de NEV 2016 (ECN/PBL/CBS/RVO, 2016) wordt dan ook een zeer beperkte stijging van thermische zonne-energie aangehouden, van de huidige 1,1 PJ naar 2,6 PJ in 2030. Deze verwachting komt mede voort uit het feit dat er nauwelijks ontwikkeling geweest is op zon-thermische toepassingen in de afgelopen 5 jaar, de opwek is van 1 PJ naar 1,1 PJ gegaan tussen 2010 en 2015 (CBS, 2016).

4.2.3 Inschatting van PLUS-marktpotentieel

De branchevereniging voor zonne-energie, Holland Solar, verwacht een substantiële stijging in de komende jaren naar 5 PJ per jaar in 2020 (Holland Solar, 2015), voornamelijk in de gebouwde omgeving. In het rapport is echter onduidelijk waar deze verwachting op gebaseerd is. Gezien de huidige ontwikkelingen en de beperkte rentabiliteit van dit soort systemen, zoals hierboven besproken, nemen we aan dat er geen grote ontwikkeling zal komen van thermische zonne-energie in de komende jaren. Daarom nemen we een constante toename van 0,1 PJ per vijf jaar aan voor het BAU-marktpotentieel, en 0,5 PJ per vijf jaar voor het PLUS-marktpotentieel.

Voor de industrie en in de landbouw veronderstellen we dat het marktpotentieel (circa) 0 PJ blijft. Gezien de relatief lage energieprijzen en energiebelastingen lijkt thermische zonne-energie op korte termijn daar niet op grote schaal rendabel.

Tabel 7 BAU en PLUS-marktpotentieel zon-thermisch (deze studie)

Potentiëlen (PJ finaal)	BAU / PLUS		Marktpotentieel			NEV vastgesteld + voorgenomen beleid		
Technologie/bron		2015	2020	2023	2030	2020	2023	2030
Zon-Thermisch	BAU	1,1	1,2	1,3	1,4	2,1	2,1	2,6
	PLUS		1,6	1,9	2,6			

4.3 Aardwarmte

Aardwarmte, ook wel geothermie genoemd, bestaat uit het gebruiken van warmte uit diepere aardlagen. In een aanzienlijk deel van Nederland zijn er waterhoudende grondlagen (aquifers) aanwezig waaruit warm water onttrokken kan worden. Met conventionele systemen wordt dit warme water direct toegepast voor verwarming van gebouwen en processen, dit gebeurt meestal in combinatie met een warmtenetwerk om het water te transporteren. Op 1000 meter diepte is de temperatuur circa 40 °C, voldoende om zeer goed geïsoleerde gebouwen mee te verwarmen op basis van lage temperatuur warmteafgifte te verwarmen. Op circa 3000 meter is de temperatuur 100 °C, voldoende om bestaande gebouwen mee te verwarmen, maar ook voor verschillende toepassingen in de industrie, waaronder het drogen van organisch materiaal zoals hooi, groenten en vis. Op nog grotere diepte (meer dan 4000 meter) bevindt zich warm water met temperaturen die hoog genoeg zijn om efficiënt elektriciteit mee op te kunnen wekken (onconventionele systemen).

Nederland bevindt zich in een redelijk unieke situatie als het gaat om geothermie, omdat er relatief veel bekend is van de ondergrond. De ondergrond is daarnaast in verschillende plaatsen zeer geschikt voor het toepassen van geothermie en de vraag naar warmte is groot en vaak relatief geconcentreerd (zeker wanneer er sprake zou zijn van het uitfaseren van aardgas als dominante warmtebron in de toekomst). Overigens is nog niet de hele ondergrond in kaart gebracht op het potentieel voor geothermie.

De verwachting is dan ook dat geothermie zich op de korte en middellange termijn vooral zal ontwikkelen op plekken waar zich bovengronds een geconcentreerde warmtevraag voordoet of waar reeds een warmtenetwerk aanwezig is. De ontwikkeling van nieuwe warmtenetwerken is momenteel een kostbare aangelegenheid die daardoor slechts op een aantal plaatsen van de grond zal komen, wat ook van invloed zal zijn op het groeipotentieel van geothermie. Het totaal realistisch potentieel wordt geschat op 100 PJ (waarvan 2,5 PJ in 2015 is gerealiseerd, (H+N+S Landschapsarchitecten & Ecofys, 2015)).

4.3.1 Prognose van kostprijs in de zichtjaren (range)

Benutting van aardwarmte voor verwarmingsdoeleinden heeft tot 4 km diepte – ook in Nederland – een relatieve lage kostprijs voor hernieuwbare warmte. In de SDE+-regeling wordt uitgegaan van basisbedragen van 53 tot 57 €/MWh$_{th}$ (voor respectievelijk dieptes ≥ 500 m en ≥ 3500 m). De prijzen zijn de afgelopen jaren enigszins toegenomen, maar doordat de boortechnologie al in de olie- en gaswinning is uitontwikkeld worden geen grote veranderingen in de investeringskosten verwacht. Door de marktontwikkeling kunnen wel kostprijsreducties als gevolg van systeeminnovaties worden verwacht (optimaliseren van de waardeketen, lagere financieringskosten, etc.). Ondiepe geothermie (<1500 m) waarbij lage-temperatuur warmte uit aquifers wordt onttrokken, concurreert met andere concepten voor levering van lage-temperatuur, zoals warmte/koude-opslag en omgevingswarmte.

Voor ultradiepe geothermie (meer dan 4 km diepte) zijn wel aanzienlijke kostenreducties mogelijk, maar vanwege de aanzienlijke technologische risico's is de bandbreedte van de kostprijs nog te groot. Elders in Europa zijn projecten succesvol gerealiseerd, wat kan bijdragen aan een betere inschatting van de risico's en betere mitigatie van die risico's. Met diepe geothermie zou ongeveer 30% (ca. 50 PJ) van de hoge-temperatuur warmtevraag in de industrie kunnen worden gedekt (IF/ECN, 2014).

4.3.2 Overzicht van barrières (en kansen) en gevolgen voor beleid

De belangrijkste barrières voor aardwarmte zijn ter voorbereiding van een kamerbrief van de Minister van Economische zaken in een aantal studies geadresseerd (Rijksoverheid, 2016) (IF Technology, 2016), (Carnegie Consult, 2016). De belangrijkste risico's zijn de projectrisico's die kunnen worden opgesplitst in: geologisch risico *(revenue risk)* – het risico dat het project minder warmte produceert dan verwacht en dus lagere inkomsten genereert; boorrisico *(construction risk)* – het risico dat in de constructiefase de kosten hoger zijn dan verwacht, en/of dat deze fase langer duurt; en exploitatie risico – het risico van storingen tijdens de operationele fase, met extra kosten en geen/lagere inkomsten/baten als gevolg. Deze risico's vertalen zich in relatief hoge kosten van kapitaal, o.a. door een hoog aandeel van het eigen vermogen van ca. 40%. Een deel van deze risico's wordt afgedekt door de Regeling Nationale EZ-subsidies Aardwarmte (RNES Aardwarmte), maar onder andere de exploitatierisico's zijn niet of moeilijk te dekken. Door (IF Technology, 2016) wordt een aantal aanbevelingen gedaan die deels door de Minister zijn overgenomen en die moeten resulteren in het verbeteren van de financierbaarheid van aardwarmte-projecten.

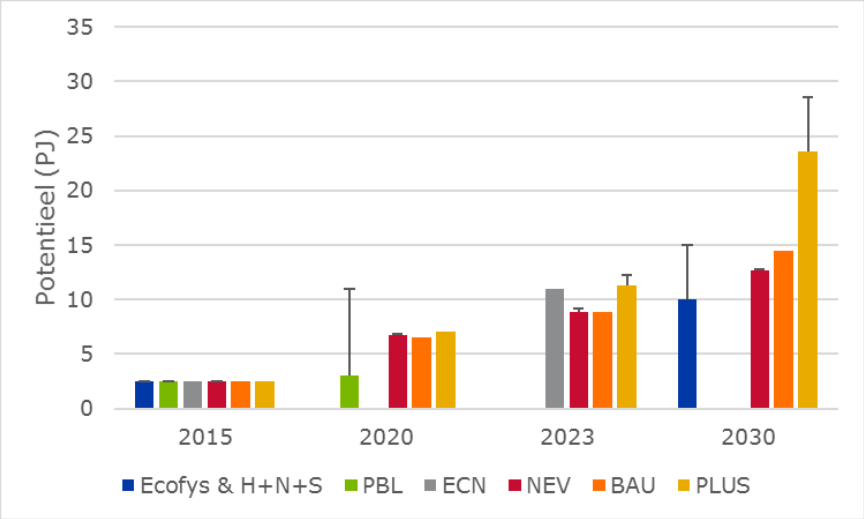
4.3.3 Ruimtelijke en financiële concurrentie andere technologieën

Aardwarmte heeft een geringe (bovengrondse) ruimtelijk impact. Vooralsnog is de beschikbaarheid van geothermie dicht bij de warmtevraag een evidente factor. Op termijn zouden grotere warmtenetten de grootschalige ontsluiting van deze bron kunnen bespoedigen, maar er zijn op dit moment geen concrete initiatieven bekend. De ruimtelijke concurrentie met andere technologieën is beperkt.

Aardwarmte heeft relatief lage kosten en heeft daardoor in het verleden een aanzienlijk deel van het SDE en SDE+ budget kunnen claimen. Maar zoals eerder aangeduid is het niet de kostprijs maar de financiering van de projecten die de grootste barrière vormt.

4.3.4 Inschatting BAU- en PLUS-marktpotentieel 2020, 2023 en 2030

In de afgelopen jaren is er meer aandacht gekomen voor geothermie in Nederland. Dit is te zien aan een groei van 1,5 PJ in 2014 naar 2,5 PJ in 2015, maar ook door initiatieven zoals de Green Deal Geothermie Brabant die in 2016 door verschillende partijen is ondertekend door centrale en lokale overheid en verschillende partijen uit de markt. Toch wordt niet verwacht dat geothermie op korte termijn een substantieel deel van de energievoorziening zal verzorgen. In een rapport van PBL (PBL, 2012) wordt er modelmatig gekeken welke bijdrage geothermie kan hebben. Voor de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving blijkt deze te liggen in een bandbreedte van 5-10%. Dit is voornamelijk te wijten aan de noodzaak om de geothermie lokaal te kunnen opwekken en ook lokaal te kunnen gebruiken. Een studie van (ECN, 2013) voorziet een duidelijke stijging van het aandeel geothermie, maar komt niet verder dan 11 PJ. Ook een recent onderzoek van Ecofys en H+N+S landschapsarchitecten (H+N+S Landschapsarchitecten & Ecofys, 2015) blijft steken in deze ordegrootte van energieopwekking uit geothermie voor 2030.



Figuur 7: Potentieelschattingen voor geothermie

Tabel 8 BAU en PLUS-marktpotentieel aardwarmte (deze studie)

Potentiëlen (PJ finaal)	BAU / PLUS		Marktpotentieel			NEV vastgesteld + voorgenomen beleid		
Technologie/bron		2015	2020	2023	2030	2020	2023	2030
Aardwarmte	BAU	2,5	7	9	15	6,8	9,2	12,8
	PLUS		7	11-12	24-29			

In bovenstaande figuur zijn de verschillende genoemde potentiëlen voor de zichtjaren gepresenteerd. De spreiding is aangegeven met een zwart balkje. Hoewel er een relatief grote groei wordt verwacht voor geothermie in de zichtjaren (van 2,5 in 2015 naar circa 12,5 in 2030) is de groei in absolute termen vrij klein. De extra 10 PJ die verwacht wordt rond 2025-2030 is geen aanzienlijke toevoeging op het totaal van enkele honderden PJ hernieuwbare energie in die periode. Het NEV2016 voorziet met voorgenomen beleid ook geen significante verandering op het vastgesteld beleid. Volgend uit deze constateringen wordt aangenomen dat geothermie zich verder zal ontwikkelen en dat aanvullend beleid dit zou kunnen versnellen, maar dat er in de zichtjaren geen aanzienlijke verandering zal zijn ten opzichte van een BAU.

Uit bovenstaande blijkt dat de inschatting van de marktpotentiëlen, zowel BAU als PLUS, voor aardwarmte niet eenvoudig is. In de periode 2012-2015 zijn 81 subsidie-aanvragen ingediend bij SDE/SDE+, waarvan 71 een positieve beschikking hebben ontvangen, 54 projecten uiteindelijk niet zijn doorgegaan, 12 projecten gerealiseerd, en 5 nog in ontwikkeling (RVO, 2017c). Gemiddeld kreeg een jaarlijkse energieproductie van <4 PJ een positieve beschikking, maar gemiddeld werd of zal maximaal 30% daarvan gerealiseerd worden[8]. In 2016 waren er 15 aanvragen, met 14 positieve beschikkingen die samen goed waren voor een jaarlijkse productie van ruim 5 PJ.

[8] Berekeningen op basis van informatie van RVO over de periode 2012-2015 en de stand van zaken per 1 januari 2017. Er kunnen nog projecten afvallen.

Indien verondersteld wordt dat het jaarlijkse aanbod van projecten gelijk blijft op ca. 4 PJ, en als realisatiepercentage 20% genomen wordt, dan zal er jaarlijks maximaal 1 PJ aan aardwarmteprojecten bijgeplaatst kunnen worden. In 2020, 2023 en 2030 resulteert dat in ca. 6,5 PJ, 9 PJ en 14,5 PJ respectievelijk, waarbij de glastuinbouw waarschijnlijk een belangrijke afnemer zal blijven zijn. Dit veronderstellen we voor het BAU-scenario (en is vergelijkbaar met de NEV-scenario's).

Dit groeitempo kan worden verhoogd door zowel de realisatiegraad als het aanbod van projecten te vergroten. Voor het vergroten van de realisatiegraad zullen met name de barrières ten aanzien van financiering moeten worden weggenomen. De studie van (IF Technology, 2016) biedt hiervoor waardevolle aanbevelingen, waarvan de Minister heeft aangegeven deze nader te onderzoeken en uit te werken met de financiële sector. (Inmiddels is bijvoorbeeld de horizontermijn ten aanzien van de subsidiemodule 'Risico's dekken voor aardwarmte' verlengd tot 1 juli 2022.) Het is echter moeilijk in te schatten tot welk niveau de realisatiegraad effectief kan worden verhoogd. We nemen aan dat dit percentage toeneemt tot 30% in 2030. De vergroting van het aanbod hangt samen met de financierbaarheid van aardwarmte, maar de verwachting is dat ook de technologische risico's kunnen worden teruggedrongen bij toenemende ontwikkeling, en dat ook meer bestaande en nieuwe warmtenetten voor de gebouwde omgeving kunnen worden voorzien van aardwarmte. We nemen aan dat het aanbod van projecten kan toenemen met 50%. Het gecombineerde effect resulteert in 7 PJ, 11 PJ en 24 PJ in het PLUS-potentieel voor 2020, 2023 en 2030 respectievelijk. Indien ultradiepe geothermie succesvol in Nederland wordt gedemonstreerd, kan tegen 2030 een additioneel potentieel van enkele PJ's verwacht worden (hier verondersteld op 5 PJ, b.v. 5-8 projecten, met name voor stadsverwarming en de industrie).

Het inschatten van het marktpotentieel voor aardwarmte is moeilijk aangezien aardwarmte in Nederland nog vele onzekerheden kent: een volledig inzicht in het potentieel van aardwarmte ontbreekt, de technologische en daarmee samenhangende financiële risico's zijn significant, en de toekomstige ontwikkelingen op de warmtemarkt zijn bepalend voor de kosten-effectiviteit van deze optie.

5 Potentieel biomassa

De vaststelling van het technische potentieel (de energie-inhoud) van biomassa afkomstig van het huidige land- en bosbouwareaal is in wezen niet complex, op voorwaarde dat voldoende statistieken over landgebruik en biogene afvalstoffen beschikbaar zijn. Daarnaast kan biomassa worden geïmporteerd en geëxporteerd waardoor het aanbod op de Nederlandse markt maar voor een deel wordt bepaald door het aanbod van Nederlandse bodem. Het vaststellen van de marktpotentiëlen per sector en/of finale energiedrager is mede daardoor veel complexer:

- het landgebruik kan veranderen (b.v. door energieteelt),
- de inzet van de biomassa kan veranderen: energetische versus niet-energetische toepassingen, afhankelijk van (prijs)ontwikkelingen in de diverse markten,
- enkele grote projecten kunnen al een relatief grote impact hebben op de potentieelschatting,
- biomassa kan worden getransporteerd naar andere markten (im- en export), en
- discussies over de duurzaamheid van de biomassa-routes kan de inzet van bepaalde conversieroutes belemmeren.

In deze studie gebruiken we twee routes om het BAU- en PLUS-marktpotentieel in te schatten:

1. Ontwikkeling van het aanbod van biomassa in Nederland (exclusief import), gebaseerd op de de literatuurbronnen als weergegeven in Bijlage F; en
2. Ontwikkeling van de vraag naar biomassa voor energieproductie, ongeacht de herkomst van de biomassa, op basis van de ontwikkelingen in de afgelopen jaren.

Voor de marktpotentiëlen zullen beide routes worden gecombineerd: Route 1 wordt gebruikt voor het inschatten van de marktpotentiëlen voor biomassa afval- en meststoffen, die voornamelijk in vergistingsinstallaties kunnen worden benut (afvalverbrandingsinstallaties (AVI's) vallen buiten de scope van deze studie). Route 2 wordt gebruikt voor het inschatten van de vraag naar overige biomassa-categorieën die op de wereldmarkt verhandeld worden (zoals houtsnippers en -pellets, oliën). Wel wordt deze vraag geplaatst naast het Nederlandse aanbod, onder andere omdat sommige actoren beperkingen opleggen aan de inzet van bepaalde biomassastromen en/of aan de herkomst daarvan.

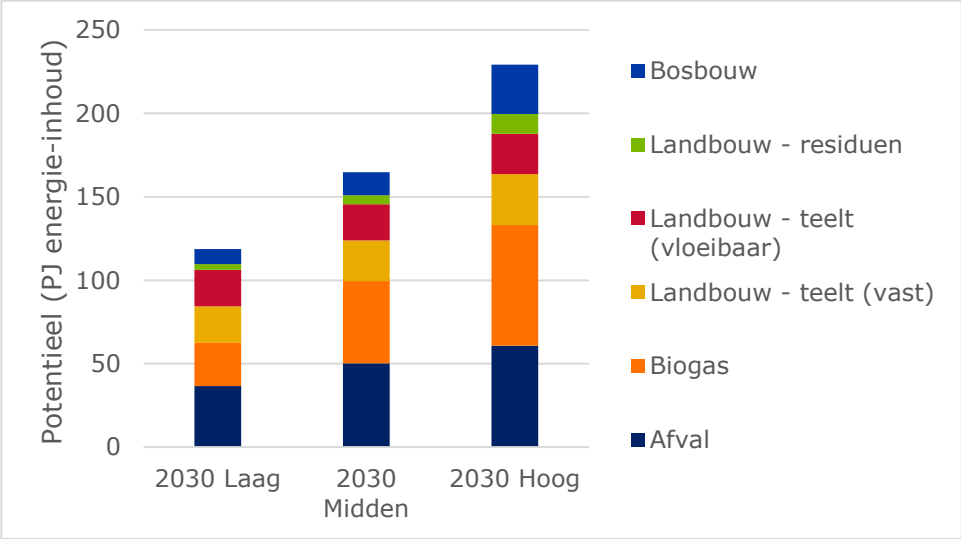
5.1 Route 1: Aanbod van biomassa voor energieconversie

In deze studie sluiten we aan bij de studie van (JRC et al., 2015), waarin nationale bio-energie potentiëlen worden berekend voor alle EU lidstaten voor een brede groep aan biomassa-categorieën. De resultaten komen overeen met de hierboven gepresenteerde studies, en maken een vergelijking met de NEV 2016 het makkelijkst. Import van biomassa is in deze studie niet meegenomen, althans niet per lidstaat.

5.1.1 Inschatting BAU-aanbod 2020, 2023 en 2030 (exclusief import)

In (JRC et al., 2015) wordt voor het jaar 2030 een potentieel op basis van energie-inhoud van 120 tot 230 PJ gepresenteerd (Figuur 8). In termen van finale energie komt dit overeen met ca. 90 tot 175 PJ, als met name wordt ingezet op warmteproductie (energieteelt/agrarische residuen, bosbouw) waardoor het gemiddelde omzettingsrendement voor biomassa uitkomt op ca. 75%, vergeleken met 65% indien de huidige inzet voor elektriciteitsproductie wordt verondersteld. De belangrijkste onzekerheden zitten in het potentieel voor mestvergisting, en de benutting van biomassa-afvalstoffen en bosbouw.

Voor het BAU-aanbodpotentieel nemen we het lage beschikbaarheid scenario uit de JRC studie, met uitzondering voor mestvergisting waarbij we een (lagere) toename van 0,5 PJ per jaar hanteren, min of meer overeenkomend met NEV 2016. Dit getal is gebaseerd op de projecten die in de periode 2012-2015 een positieve SDE+ beschikking hebben ontvangen, en die per 1/1/2017 nog in beheer zijn bij RVO (RVO, 2017c), ca. 50% in termen van finale energie.



Figuur 8: Aanbodpotentieel (primair, energie-inhoud) van in Nederland te produceren biomassa in 2030 volgens (JRC et al., 2015)

5.1.2 Inschatting van PLUS-aanbodpotentieel voor de jaren 2020, 2023 en 2030 (exclusief import)

Op vergelijkbare wijze wordt het PLUS-marktpotentieel vastgesteld, waarbij het hoog beschikbaarheid scenario van (JRC et al., 2015) wordt aangehouden. Voor mestvergisting hanteren we een enigszins afwijkende schatting: een toename van gemiddeld 1 tot 3,5 PJ/jaar tot 2030. 1 PJ/jaar komt overeen met ruwweg een verdubbeling van de realisatie van projecten (ofwel door een grotere vraag, ofwel door een hogere realisatiegraad), terwijl de 3,5 PJ/jaar een aanzienlijke versnelling laat zien. Het laatste getal komt overeen met een 70% realisatie van de in 2016 beschikte projecten. Deze toenames resulteren in een 26-63 PJ bijdrage in 2030 (zie discussie hieronder).

Groei is vooral te verwachten in de benutbaarheid van mest, hoofdzakelijk rundermest en in mindere mate varkens- en kippenmest. De potentiëlen zijn aanzienlijk hoger dan de veronderstelde inzet in de NEV 2016 scenario's, ca. 18 PJ (finaal).

Een belangrijke toename komt van biogas (zie ook Figuur 8). In de routekaart hernieuwbaar gas (Groen Gas Forum, 2014) wordt het potentieel van biogas uit vergisting in Nederland tot 2030 geschetst. In de routekaart wordt verondersteld dat in de periode 2020 tot 2030 aan de reststromen zeewier kan worden toegevoegd. Dat brengt het potentieel in 2030 inclusief zeewier op 3,7 miljard m^3 biogas, oftewel ongeveer 75 PJ (primair, ca. 60 PJ finaal afhankelijk van de veronderstelde conversieroute), wat vergelijkbaar is met de bijdrage van 63 PJ (finaal) in de bovengrens van het PLUS-potentieel. Het is onduidelijk òf zeewier op deze schaal en in deze termijn beschikbaar zal zijn voor energiedoeleinden. Op dit moment verkeert de teelt van zeewier in Nederland nog in de onderzoeksfase. Er zijn echter ook andere mogelijkheden om het aanbod van reststoffen en/of energiegewassen op bestaand landbouwareaal aanzienlijk te vergroten, bijvoorbeeld uit tussen- en/of combinatieteelt van gewassen ('*sequential cropping*'), zoals al toegepast in Italië alwaar men de ambitie heeft om in 2030 8 miljard Nm3 aan biomethaan te produceren via deze route (Peters, 2017).

5.2 Route 2: Vraag naar biomassa voor energieconversie

Met uitzondering van een aantal toepassingen van biomassa voor energiedoeleinden (haarden in huishoudens, afvalverbrandingsinstallaties, etc.) wordt de vraag naar biomassa voor energieconversie nog voor een belangrijk deel gevormd door de SDE+-regeling. Dit geldt zowel voor de grootschalige bij- en meestook in kolencentrales, als voor kleinschaliger ketels in de industrie. In deze tweede route wordt de toekomstige vraag naar biomassa afgeschat door de aanvragen, beschikkingen en realisatie van technologieën onder de SDE+-regeling voor de periode 2012-2015 en 2016 nader te analyseren voor een aantal hoofdcategorieën, waarbij trends worden geëxtrapoleerd.

In onderstaande tabel wordt deze aanpak gepresenteerd voor de biomassa-stromen die onderdeel zijn van deze studie (biomassa bij- en meestook, afvalverbrandingsinstallaties, biomassa huishoudens en vloeibare transportbrandstoffen vallen buiten de scope van deze studie; hiervoor worden waarden genomen uit de NEV 2016).

Tabel 9 **Ontwikkelingen in de SDE+-regeling over de periodes 2012-2015 en 2016 voor de bioenergie toepassingen die centraal staan in deze studie**

	Gemiddelde ontwikkeling over 2012-2015				2016	Realisatie (max, per 1/1/17) %		2015-2030	
	Aangevraagd		Beschikt		Beschikt			Toename (PJ/jr)	
	PJ/jr	#/jr	PJ/jr	#/jr	PJ/jr	BAU	PLUS	BAU	PLUS
Ketel vaste en vloeibare biomassa	1,8	41	1,5	25	2,4	70%	75-90%	1,1	1,1-2,1
Thermische conversie van biomassa	6,2	18	4,7	13	5,1	35%	50-90%	1,6	2,3-4,6
AWZI/RWZI	0,1	2	0,1	2	0,0	70%	75-90%	0,0	0,1
Allesvergisting	0,6	11	0,3	8	0,1	35%	40-75%	0,1	0,1-0,3
Mest covergisting	1,4	41	1,0	32	1,5	35%	60-75%	0,3	0,6-1,1
Mest monovergisting	0,1	6	0,1	2	0,2	35%	60-75%	0,0	0,0-0,1
RWZI thermofiele vergisting van secundair slib	-	-	-	-	-	0%	0%	0	0
Groen gas	4,6	30	1,4	12	4,8	10%	35-70%	0,1	0,5-3,3
Totaal	**15**	**148**	**9**	**93**	**14**			**3,4**	**5-12**

De afgelopen jaren werd voor ongeveer 15 PJ/jaar aan projecten ingediend, waarvan 9 PJ/jaar een positieve beschikking kreeg. In 2016 was dit 14 PJ. Niet alle beschikte projecten worden ook daadwerkelijk gerealiseerd. De tabel geeft aan welk percentage van de projecten gerealiseerd kan worden, waarbij wordt verondersteld dat alle projecten die nu in beheer zijn bij RVO volledig worden gerealiseerd (RVO, 2017c). Deze getallen zijn daarom bovengrenzen ('max'). De toename in de BAU- en PLUS-marktpotentiëlen wordt vervolgens berekend door de historische toename aan te nemen voor BAU, en de hogere realisatiepercentages voor PLUS, waarvoor een bandbreedte wordt gegeven.

De grootste onzekerheid betreft de realisatiegraad van de projecten. Onder de SDE+ laten de biogasprojecten de laagste percentages zien (maxima tussen 10% en 35% in de periode 2012-2015). Indien deze percentages kunnen worden verhoogd is een aanzienlijke groei te realiseren. Door (Groen Gas Forum, 2014) zijn hiervoor verschillende aanbevelingen gedaan. Voor thermische conversie van biomassa geldt een vergelijkbaar relatief laag percentage, terwijl de laatste jaren ca. 6 PJ per jaar beschikt werd.

5.3 Marktpotentieel biomassa

Voor het BAU- en PLUS-marktpotentieel combineren we de gegevens voor aanbod (biogas) en vraag (ketel vaste en vloeibare biomassa / thermische conversie van biomassa) en de gegevens uit de NEV2016 voor de overige biomassa-categorieën[9]. Tabel 10 vat de resultaten van deze exercitie samen.

[9] Het NEV2016 vastgesteld + voorgenomen beleid gaat uit van een afbouw van (biomassa bij- en meestook in) kolencentrales tegen 2030.

Voor de categorieën ketel vaste en vloeibare biomassa / thermische conversie van biomassa biomassa (in de tabel en NEV2016 samengevat als: Biomassa ketels, bedrijven) volgt het BAU-potentieel de projecties uit NEV2016 tot 2023. Doordat een constante jaarlijkse potentiële marktvraag wordt verondersteld tot 2030 is het potentieel in 2030 echter aanzienlijk groter. In het PLUS-marktpotentieel is dit nog aanzienlijker. In 2030 schat NEV2016 de warmtevraag in de industrie en landbouw in op 500 PJ. Als alle biomassa voor warmteproductie zou worden ingezet zou hiermee voorzien kunnen worden in 20-35% van de warmtevraag in deze sectoren.

Tabel 10 Bio-energie potentiëlen volgens de aanbod- en vraagroute

Potentiëlen (PJ finaal)		BAU			PLUS		
Technologie	**2015**	**2020**	**2023**	**2030**	**2020**	**2023**	**2030**
Bij- en meestook (NEV2016)	p.m.	25	26	26	25	25	2
Afvalverbrandingsinstallaties (NEV2016)	20,3	20	18	17	20	18	14
Biomassa huishoudens (NEV2016)	18,6	19	19	19	19	19	19
Biomassa ketels, bedrijven	p.m.	30	38	57	34-51	45-71	69-118
Biogas	10,8	13	15	18	16-28	19-39	26-63
Vloeibare transportbrandstoffen (NEV2016)	13,3	35	35	35	35	34	33
Biomassa	**80,2**	**142**	**151**	**173**	**148-177**	**160-206**	**162-248**
NEV2016 vastgesteld beleid		142	148	152	142	148	152
NEV2016 vastgesteld + voorgenomen beleid		142	147	128	142	147	128

In het NEV 2016 vastgestelde + voorgenomen beleid scenario, neemt de inzet van biomassa in kolencentrales en AVI's aanzienlijk af (met ca. 23 PJ (finaal) ten opzichte van het vastgestelde beleid in 2030).

5.3.1 Prognose van kostprijs in de zichtjaren (range)

Binnen de SDE+-regeling zijn de meeste bioenergie conversieroutes concurrerend met andere technologieën in fase 1 (met basisbedragen van 48-85 €/MWh voor elektriciteit/WKK, 43-75 €/MWh voor warmte, en 31-63 €/MWh voor gas). Mest covergisting, mono-mestvergisting en biomassavergassing liggen in fases 2 en 3. De kostprijs wordt hoofdzakelijk bepaald door vraag en aanbod van biomassa (afval- en reststoffen, en teelt), waarbij de markt steeds mondialer zal worden. Hoe deze markt zich zal ontwikkelen is moeilijk te voorspellen.

5.3.2 Ruimtelijke en financiële concurrentie andere technologieën

Voor Nederland is de ruimtelijke concurrentie beperkt. Biomassa wordt geoogst, komt als rest- en/of afvalstof beschikbaar, of wordt geïmporteerd. Ook voor finale energieconversie heeft biomassa geen noemenswaardige concurrentie met andere technologieën. De kostprijs van bioenergie (m.n. warmtebenutting) is relatief laag vergeleken met andere hernieuwbare opties (zie hierboven).

5.3.3 Overzicht van barrières (en kansen) en gevolgen voor beleid

De belangrijkste barrières en kansen zijn onder andere uitgebreid besproken in (MinEZ, 2015), (Ecofys/ECN, 2013) en in (Commissie Duurzaamheidsvraagstukken Biomassa, 2016) specifiek over de duurzaamheid van biomassa. De barrières laten zich samenvatten in de volgende thema's: (1) is er voldoende biomassa beschikbaar voor omzetting in energie?, (2) onder welke omstandigheden is het mogelijk om lange-termijn contracten af te sluiten voor de inkoop van biomassa, (3) welke andere nuttige toepassingen kunnen gebruik maken van biomassa, en hoe kan biomassa het best worden benut?, (4) is biomassa duurzaam in te zeten voor energieproductie, zowel vanuit een milieu-hygiënische als maatschappelijke optiek?

Duurzaamheid van biomassa
De duurzaamheid van de energetische benutting van biomassa speelt op verschillende niveaus: mondiaal, regionaal en lokaal, en de milieu-hygiënische en maatschappelijke impact heeft een verschillend karakter voor deze niveaus. De Commissie Duurzaamheidsvraagstukken Biomassa heeft in haar advies aan het kabinet de volgende adviezen:

1. Definieer binnen de EU een minimum duurzaamheidsstandaard die op alle productie van biomassa van toepassing kan zijn en zorg voor een goede borging, en bepleit dit ook binnen de EU;
2. Introduceer een mechanisme van continue verbetering;
3. Zet in op Duurzame Biomassaregio's als alternatief voor en aanvulling op certificeringssystemen;
4. Zet in op duurzame productieketens waarbij duurzaamheid onderdeel is van specificaties en normeringen;
5. Promoot en bevorder als overheid dat het 'marktaandeel' van duurzaam geproduceerde biomassa vergroot wordt;
6. Bevorder ketenoptimalisatie bij productie en gebruik van duurzame biomassa.

De opvolging van deze adviezen vergt tijd en samenwerking met internationale actoren. Voor de versnelling van de ontwikkeling van bio-energie op kortere termijn, moeten tevens maatregelen binnen Nederland worden genomen. In een studie voor IPO hebben (Ecofys/ECN, 2013) voor de toepassingen met de grootste marktpotentiëlen, biogas en thermische conversie, de volgende aanbevelingen gedaan. De aanbevelingen richten zich op het vergroten van zowel het aanbod van nieuwe projecten als van het realisatiepercentage van beschikte projecten.

Voor biogas betekent dit (overgenomen uit rapport):

- SDE+ eisen aanscherpen en kritischere toetsing van de haalbaarheid van projecten die SDE+ aanvragen in een vrije categorie.
- Vaststellen van invoedstandaarden voor groen gas in het gasnet.
- Onderzoeken of digestaat van installaties als kunstmest kan worden beschouwd en niet als dierlijke mest en aanpassen. Hierdoor wordt digestaat een inkomstenbron in plaats van een kostenpost (Green Deal). Duurzaamheidseisen of kwaliteitsborging is echter belangrijk bijvoorbeeld in relatie tot het voorkomen van grondvergiftiging door zware metalen.

- Monitoren of de verruiming van de “positieve lijst” (Green Deal) het gewenste effect heeft en voldoende flexibiliteit biedt.
- Het landelijke gasnetbeheer moet in staat worden gesteld te investeren in uitbreiding van het gasnet: mogelijk maken van socialisering van investeringen in gasnetten voor ‘overstorten’ bij groen gas (Green Deal).
- De groengasproductie kan verder aangejaagd worden door de vraag naar groen gas in de transportsector te versterken. Een fiscale behandeling van transportbrandstoffen die recht doet aan de well-to-wheel CO2-emissies van de gebruikte brandstoffen zorgt ervoor dat het rijden op groen gas aantrekkelijk wordt. Een mogelijkheid is om de fiscale behandeling van groen gas gelijk te stellen aan die van alle andere transitiebrandstoffen, zoals elektriciteit nu en o.a. waterstof in de toekomst. Concurrentie van groen met groen in plaats van concurrentie tussen groen en grijs werkt per definitie contraproductief voor de ontwikkeling van de hernieuwbare alternatieven.
- Bij aanpassing van de fiscale behandeling van groen gas is de inzet om op termijn zonder SDE te kunnen produceren.
- Als de bijmengingsverplichting het fysieke bijmengen gelijk stelt aan bijmenging middels gecertificeerde biobrandstof (book and claim) kan groen gas in transport de invulling van het aandeel “niet conventionele biobrandstof” verzorgen.

Voor vaste biomassa betekent dit (overgenomen uit rapport):

- De beschikbaarheid van biomassa mee laten wegen in de vergunningaanvraagprocedures door het overleggen van een bewijs van oorsprong en duurzaamheid en leveringscontracten met leveranciers.

Voor beide opties geldt dat biomassa een rol kan spelen als back-up voor de warmtevoorziening die naar verwachten steeds meer geëlektrificeerd zal raken. In tijden van geringer aanbod van variabele hernieuwbare elektriciteitsbronnen, kan biomassa in een deel van de warmtevoorziening voorzien.

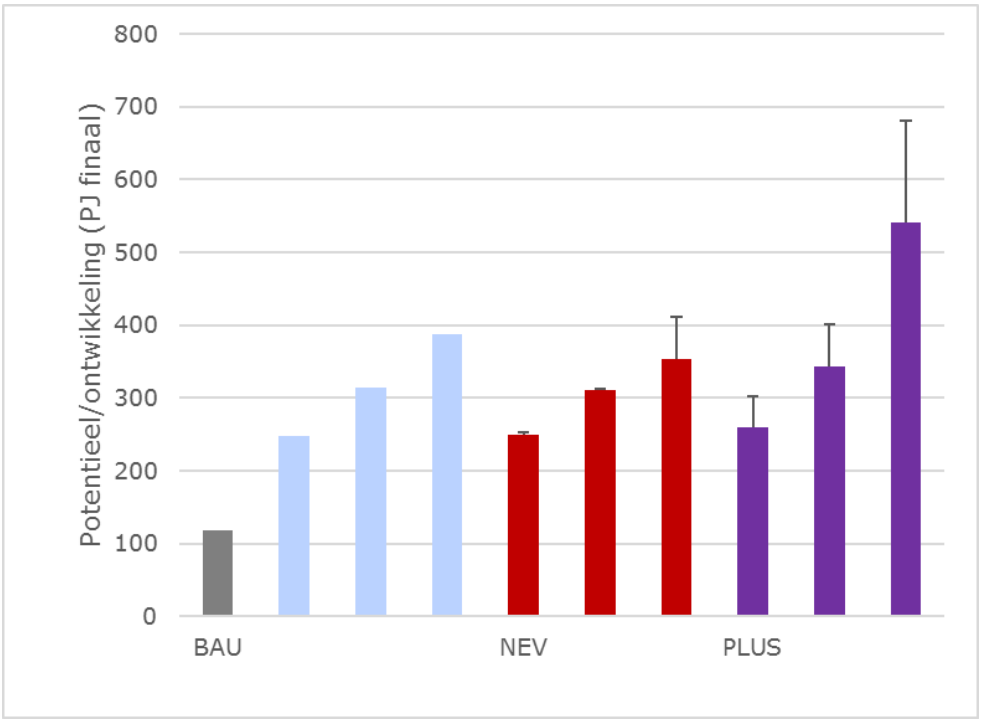
6 Conclusies

Onderstaande tabel vat de PLUS-marktpotentiëlen samen en plaatst deze naast het NEV2016 vastgesteld + voorgenomen beleid scenario (NEV2016vv). Het PLUS-marktpotentieel is gedefinieerd als dat deel van het maximaal realiseerbaar potentieel dat kan worden ingevuld indien door aanvullend beleid de kosten-effectiviteit wordt verbeterd en/of barrières worden weggenomen. Voor het aanvullend instrumentarium wordt aangesloten bij het huidige instrumentarium, waarbij in het geval van de SDE+ regeling verondersteld wordt dat de maximum fasebedragen gelijk blijven (130 €/MWh voor elektriciteit en warmte, 92 €/MWh voor hernieuwbaar gas), maar dat het budget voor de regeling als geheel kan worden verhoogd, waardoor technologieën met hogere basisbedragen in de laatste fase aan bod kunnen komen. Het betekent ook dat voor technologieën/conversieroutes met basisbedragen boven de maximum fasebedragen geen baat zullen hebben van de SDE+ regeling.

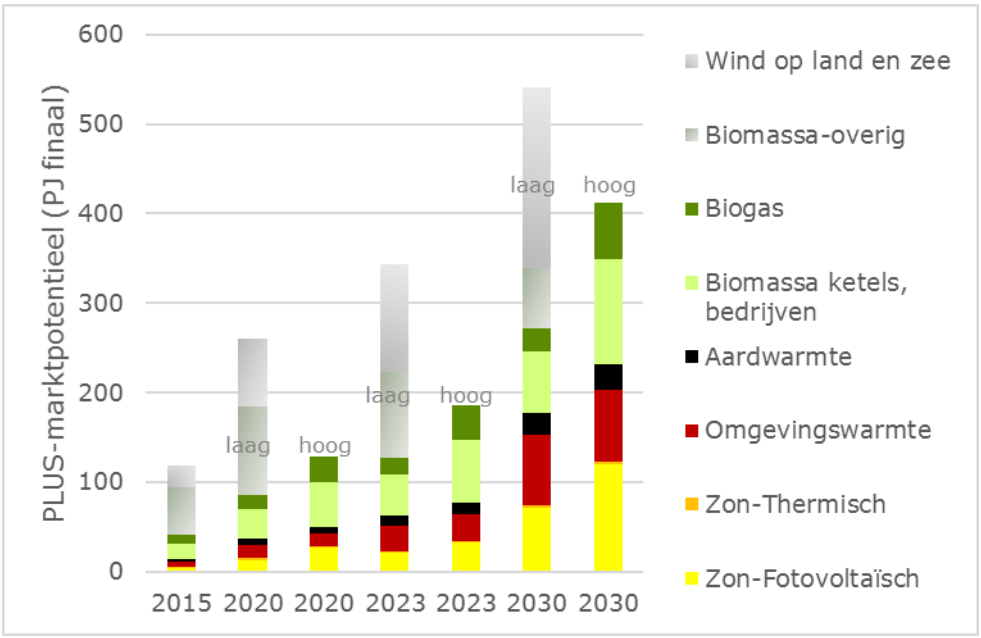
Tabel 11 Samenvatting van het PLUS-marktpotentieel voor hernieuwbare energie in Nederland

Potentiëlen (PJ finaal)		PLUS marktpotentieel			NEV vastgesteld + voorgenomen beleid		
Technologie/bron	**2015**	**2020**	**2023**	**2030**	**2020**	**2023**	**2030**
Getijden/onderzeese stroming	0	0	0	0,4			
Golven	0	0	0	0			
Zoet-zoutgradiënten	0	0	0	0			
Rivieren/verval	0,4	0,4	0,45	0,5	0,4	0,4	0,4
Wind (kleinschalig <250 kW)	0	0	0	0			
Zon-Fotovoltaïsch	4	13-26	20-32	70-119	13	19	45
Zon-Thermisch	1,1	1,6	1,9	2,6	2	2	3
Omgevingswarmte	5,7	14	29	80	12	15	23
Omgevingswarmte - Woningen	1,7	6	14	48			
Omgevingswarmte - Utiliteit	4,0	8	14	28			
Omgevingswarmte - Industrie	0	0	0	0			
Omgevingswarmte - Landbouw	0	0	1	4			
Aardwarmte	2,5	7	11-12	24-29	7	9	13
Biomassa	80,2	148-177	160-206	162-248	142	147	128
Bij- en meestook*	p,m,	25	25	2	25	25	2
Afvalverbrandingsinstallaties*	20	20	18	14	20	18	14
Biomassa huishoudens*	19	19	19	19	19	19	19
Biomassa ketels, bedrijven	p,m,	34-51	45-71	69-118	30	36	42
Biogas	11	16-28	19-39	26-63	14	15	18
Vloeibare transportbrandstoffen*	13	35	34	33	35	34	33
Wind op land*	21,2	44	54	68	44	54	68
Wind op zee*	4	33	65	134	33	65	134
Totaal hernieuwbaar	119	261-302	343-402	542-681	253	313	412
Totaal bruto eindverbruik	2050	2047	2035	2005	2047	2035	2005
percentage hernieuwbaar	5,8%	13-15%	17-20%	27-34%	12%	15%	21%

* NEV2016vv



Figuur 9: BAU- en PLUS-marktpotentiëlen afgezet tegen het finaal verbruik in de NEV2016 scenario's (vastgesteld beleid, en vastgesteld+voorgenomen beleid)



Figuur 10: PLUS-marktpotentiëlen (lage- en hoge-schatting) per belangrijkste 'overige' hernieuwbare energiebronnen (indicatief zijn ook de NEV2016vv projecties voor windenergie en overige biomassa weergegeven)

Het PLUS-potentieel geeft een 3-20% (relatief) hogere bijdrage van hernieuwbare energie t.o.v. NEV2016vv in 2020, wat oploopt tot 30-65% in 2030. De aanzienlijke bandbreedte in het PLUS-marktpotentieel wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door de onzekerheden in de ontwikkeling van bio-energie. En in mindere mate in die van zon-PV.

Hoewel de overige bronnen ook onzekerheden kennen, is bij bio-energie projecten het grote verschil tussen aangevraagde subsidie, beschikte subsidie en gerealiseerde projecten aanzienlijk. De bandbreedte in het realisatiepercentage, in combinatie met de relatief grote jaarlijkse subsidieaanvraag en -beschikking (in 2016 werd voor 14 PJ/jaar subsidie beschikt) maakt dat de projecties voor bio-energie sterk uiteen kunnen lopen.

Uit de inventarisatie van de potentiëlen voor overige hernieuwbare energiebronnen, blijkt dat er enkele soorten zijn waar er met aanvullend beleid aanzienlijke groei verwacht kan worden en die significant kunnen bijdragen aan het behalen van de doelstellingen voor hernieuwbare energie. De belangrijkste verschillen tussen PLUS en NEV2016vv zijn:

- Grotere groei voor zon-PV vooral na 2023
- Aanzienlijke versnelling in de benutting van omgevingswarmte
- Een grotere, maar onzekere bijdrage van biomassa (thermische conversie / ketels)
- Een grotere, maar eveneens onzekere, bijdrage van aardwarmte

Zon-PV, warmtepompen/omgevingswarmte en bio-energie maken het verschil op korte en lange termijn. Om versnelling van realisatie van het potentieel in deze soorten hernieuwbare energie te behalen zijn er verschillende maatregelen mogelijk. De selectie van de belangrijkste maatregelen om deze versnelling te kunnen verzorgen zijn hieronder benoemd. In de vorige hoofdstukken, en in de diverse routekaarten beschreven in de literatuur zijn meer (soms zeer gedetailleerde) beschrijvingen van maatregelen te vinden.

Zon-PV

- Het stimuleren van het optimaal benutten van dakoppervlak in de bestaande en in nieuwbouw, door het afstappen van een gebruik gerelateerde regeling (salderingsregeling) naar een regeling die zoveel mogelijk opwek van zonnestroom per dak stimuleert.
- Stroomlijnen van regelgeving, bijvoorbeeld in relatie tot het faciliteren van woningcorporaties (energievoorziening voor huurders kunnen regelen) en zonneparken (o.a. problemen met omgevingsvergunning).
- Aanhouden en uitbreiden van grootschalige zonprojecten, bijvoorbeeld door zonnestroomlocaties op overheidsgronden aan te besteden in een gecombineerd vergunning/tender proces, conform de ervaringen met offshore wind.
- Monitoren van de ontwikkeling bij de vervanging van asbestdaken door zonnedaken in de landbouw, en indien een gericht programma inrichten voor zonnedaken in de landbouw.

Omgevingswarmte

- Verbeteren van kennisniveau van consumenten en installateurs, door bijvoorbeeld informatievoorziening en cursussen.
- Actief stimuleren van energiebesparing en opwek door middel van warmtepompen, bijvoorbeeld door verdere verschuiving van de belasting van elektriciteit naar gas.
- Bij grootschalige renovaties en nieuwbouw dient vaker gekozen te worden voor een aardgasloze variant, dit kan bijvoorbeeld door de (her)aansluiting op aardgas duurder te maken of een verplichting in te stellen voor een oplopend percentage van de bouw dat niet meer op aardgas is aangesloten.

Doordat omgevingswarmte met warmtepompen samen dient te gaan met een aanzienlijke energiebesparing, wordt op twee fronten bijgedragen aan het verhogen van het percentage hernieuwbaar (zowel in de teller als de noemer van de breuk). Door deze combinatie met maatregelen aan de gebouwschil (met typische levensduren van 25-40 jaar) heeft deze aanpak daarnaast een veel langere doorwerking.

Biomassa

- Langere termijn: Creëren van een duurzame waardeketen voor de productie en benutting van biomassa voor (onder andere) energieproductie.
- Verhogen van het realisatiepercentage van bio-energie projecten, door een goede screening vooraf, en advisering en ondersteuning van initiatiefnemers.
- Demonstreren van het concept van tussen- of combinatieteelt voor biogasproductie in de Nederlandse context.
- Werken aan de integratie van bio-energie in de warmtevoorziening van de toekomst.

Aardwarmte

- Verbeteren van de financierbaarheid van aardwarmte-projecten, door het (gedeeltelijk) afdekken van de verschillende risico's: geologisch risico (revenue risk), boorrisico (construction risk), en exploitatie risico.
- Verkrijgen van een volledig beeld van de verdeling van de verschillende aardwarmte-potentiëlen over Nederland.
- Ondersteunen van de demonstratie van (voor Nederland) nieuwe toepassingen van aardwarmte, zoals ultra-diepe geothermie.

Energie uit water, kleine windturbines en thermische zonne-energie

De bijdrage van de resterende overige hernieuwbare energiebronnen (water (0,9 PJ), kleine windturbines (0 PJ) en zon-thermisch (2,6 PJ)) is volgens de analyse in dit rapport tot 2030 beperkt.

Bij bovenstaande maatregelen is het belangrijk om te vermelden dat binnen deze analyse er geen rekening is gehouden met een eventuele limitatie aan de energie-infrastructuur. Uit onderzoek is gebleken dat deze in de praktijk wel degelijk aanwezig is, maar sterk afhangt van de specifieke implementatie van de technieken. Een te grote afhankelijkheid van elektriciteit uit variabele bronnen (zon, wind) - onder andere voor de productie van warmte - vraagt om een continue verbetering van de infrastructuur (interconnectie, transmissie- en distributienetten, opslag) en een goed afgestemde mix van aanbodopties (naast zon en wind bijvoorbeeld biomassa en aardwarmte voor warmte en elektriciteit, biomassa voor hernieuwbaar gas). Tenslotte is het belangrijk om ook aandacht te hebben voor een goede coördinatie op lokaal en/of regioniveau, waarbij een goede verdeling van de opwektechnieken nagestreefd dient te worden. Ook de uitrol van warmtenetten vraagt een goede coördinatie tussen bouwers, gebruikers en opwekkers, aangezien bij een klein aantal aansluitingen de netten per aansluiting fors duurder zullen worden.

7 Referenties

ACRRES. (2016). *Perspectief zonnestroom in de agratische sector.* Wageningen.

AgentschapNL. (2010). *Praktische toepassing van mini-turbines. Handleiding voor gemeenten.* AgentschapNL.

AgroAbestVeilig. (2013). *Rapportage Landelijke Enquête Asbest.*

Berenschot. (2016). *Verkenning CO2-neutrale gastoekomst. Een transitie-oplossing met CO2-neutraal gas, door een combinatie van groen gas en gas met CO2-afvang.* Berenschot i.o.v. GasTerra en Gasunie.

Berenschot. (2017). *Routekaart Hybride warmtepomp.*

BTG. (2013). *Mest(co)vergisting en biogas/groengas productie in Overijssel. Ervaringsproblemen, kansen & verbeterstrategieën.* Enschede. Retrieved from http://www.overijssel.nl/publish/pages/89130/btg_alterra_studie_mestvergisting_eindversie_integraal_juli_2013.pdf

Carnegie Consult. (2016). *Evaluatie garantie aardwarmte.* Maarssen.

CBS. (2016). *Hernieuwbare energie in Nederland 2015.* Den Haag/Heerlen/Bonaire: Centraal Bureau voor de Statistiek.

CBS. (2017). *2016: hoogste aantal nieuwbouwwoningen in vijf jaar*. Retrieved from https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2017/04/2016-hoogste-aantal-nieuwbouwwoningen-in-vijf-jaar

CBS. (2017). *Voorraad woningen en niet-woningen; mutaties, gebruiksfunctie, regio*. Retrieved from http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=81955NED

CBS/PBL/WUR. (2015). *Energieverbruik in de land- en tuinbouw, 1990-2013 (indicator 0013, versie 14 , 19 januari 2015)*. Retrieved from Compendium voor de Leefomgeving: http://www.clo.nl/indicatoren/nl0013-energieverbruik-door-de-land--en-tuinbouw

CE Delft. (2015). *Visie 2030 Glastuinbouw Energie en Klimaat*. Retrieved from http://www.ce.nl/publicatie/visie_2030_glastuinbouw_-_energie_en_klimaat/1671

Commissie Duurzaamheidsvraagstukken Biomassa. (2016). *Advies Duurzaamheidscriteria post-2020.*

Deltares. (2008). *Water als bron van duurzame energie.* Unknown: Deltares.

DHPA. (2013). *Positioning paper Warmtepompen en economie.*

DNV GL. (2015). *Nationaal Actieplan Zonnestroom.*

DVHN. (2017, maart 27). *Rechter zet streep door zonnepark Sappemeer*. Retrieved from http://www.dvhn.nl/groningen/Rechter-zet-streep-door-zonnepark-Sappemeer-22099742.html

DWA. (2016, 12 6). Kostenvergelijking van de alternatieven voor aardgas in nieuwbouwwoningen.

ECN / DNV GL. (2016). *Eindadvies basisbedragen SDE+ 2017.* ECN.

ECN. (2013). *16% hernieuwbare energie in 2020, wanneer aanbesteden?*

ECN. (2014, 2). Verkenning van biomassamarkten en hernieuwbare-energiebeleid.

ECN. (2015). *Developments of Heat Distribution Networks in the Netherlands.*

ECN/PBL/CBS/RVO. (2016). *Nationale Energieverkenning 2016.*

ECN/PBL/WUR/UU/RUG. (2015). *Biomassa 2030.* Den Haag: Ministerie van Economische Zaken. Retrieved from https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2015/12/01/biomassa-2030/biomassa-2030.pdf

Ecofys. (2007). *Duurzame warmte en koude 2008-2020: Potentiëlen, barrières en beleid.* Utrecht. Retrieved from http://www.ecofys.com/files/files/20070725eindrapportduurzamewarmtekoude.pdf

Ecofys. (2016). *Kwantificering van toekomstscenario's voor de gebouwde omgeving .* Den Haag: Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.

Ecofys, NWP, & Blueconomy. (2014). *Marktkansen en bijdrage aan verduurzaming van innovatieve technologie voor energie met water.* Den Haag: Ministerie van Economische Zaken. Retrieved from https://www.nwp.nl/sites/default/files/Rapport_Marktkansen_voor_energie_en_water.pdf

Ecofys/ECN. (2013). *Invulling van 16% hernieuwbare energie in 2020.* Utrecht: Ecofys i.o.v. Interprovinciaal Overleg (IPO).

Ecofys/ECN. (2015). *De systeemkosten van warmte voor de gebouwde omgeving.* Den Haag: Ministerie van Economische Zaken.

Ecofys/Shell (a). (2015). Country-level assessment of long-term global bioenergy potential. *Biomass and Bioenergy*(74), 253-267. Retrieved from http://www.ecofys.com/files/files/ecofys-2015-article-global-bioenergy-potential.pdf

Ecofys/Shell (b). (2015). Quantifying a realistic, worldwide wind and solar electricity supply. *Global Environmental Change*(31), 239-252. Retrieved from http://www.ecofys.com/files/files/ecofys-2015-article-realistic-worldwide-wind-and-solar-electricity-supply.pdf

EnerginetDK, E. S. (2012). *Technology Data for Energy Plants. Generation of Electricity and District Heating, Energy Storage and Energy Carrier Generation and Conversion.*

Financieel Dagblad. (2017, 2 21). Energielabels kosten kantooreigenaren ruim 1 mrd meer dan voorspeld. Retrieved from https://fd.nl/ondernemen/1188342/energielabels-kosten-kantooreigenaren-ruim-1-mrd-meer-dan-voorspeld

Fraunhofer ISE. (2017). *Recent Facts about Photovoltaics in Germany.*

Groen Gas Forum. (2014). *Routekaart hernieuwbaar gas.*

Groen Gas Forum. (2014, 6). *Routekaart hernieuwbaar gas.*

H+N+S Landschapsarchitecten, & Ecofys. (2015). *Verkenning ondergrondse ruimtevraag voor energie.* Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Retrieved from http://www.hnsland.nl/media/filer_public/39/51/3951bc92-b750-48af-a13f-be3b69591cf6/hns_ecofys_verkenning_ondergrondse_ruimtevraag_voor_energie.pdf

Holland Solar. (2015). *Ruimte voor zonne-energie in Nederland 2020-2050.* Utrecht: Holland Solar.

HSBC. (2014). *Sizing energy efficient investments.* London: HSBC.

IEA. (2016). *Renewable Energy Medium-Term Market Report 2016.* Paris: International Energy Agency.

IF Technology. (2016). *Evaluatie Algemeen instrumentarium geothermie.* Arnhem.

IF/ECN. (2014). *Kansen voor diepe geothermie bij industriële processen.*

IRENA. (2014). *Salinity Gradient Energy; Technology Brief.* International Renenewable Energy Agency.

IRENA. (2016). Retrieved from http://www.irena.org/potential_studies/

JRC. (2014). *Energy Technology Reference Indicator projections for 2010-2050 (ETRI 2014).* Joint Researh Centre.

JRC et al. (2015). *The JRC-EU-TIMES model. Bioenergy potentials for EU and neighbouring countries.* Petten: JRC. Retrieved from https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/reports/biomass_potentials_in_europe.pdf

KEMA. (2012). *Quickscan potentie van warmtepompen coor energiebesparing bij teelten met een laag energieverbruik.* Arnhem: KEMA. Retrieved from https://www.kasalsenergiebron.nl/content/research/12-4575_rap_PT_en_Min_van_LNV.PDF

Koppejan, J., Elbersen, W., Meeusen, M., & Bindraban, P. (2009, 11). Beschikbaarheid van Nederlandse biomassa voor elektriciteit en warmte in 2020.

Mertens, S. (2012). *Resultaten testveld kleine windturbines Schoondijke. resultaten van vier jaar testen op het testveld voor kleine windturbines te Schoondijke.* Ingreenious.

Milieucentraal. (2016). *Energiezuinig verwarmen en warm water*. Retrieved from https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/energiezuinig-huis/energiezuinig-verwarmen-en-warm-water/zonneboiler/

MinEZ. (2015). Biomassa 2030. Strategische visie voor de inzet van biomassa op weg naar 2030.

NREL. (2016). Retrieved from http://www.nrel.gov/gis/re_potential.html

NVDE. (2017, 2 10). *NVDE komt met alternatief voor salderingsregeling.* Retrieved from NVDE: http://www.nvde.nl/nvde-komt-met-alternatief-voor-salderingsregeling/

PBL / DNV GL. (2014). *Het potentieel van zonnestroom in de gebouwde omgeving van Nederland.* Planbureau voor de Leefomgeving.

PBL. (2012). *Naar een duurzamere warmtevoorziening van de gebouwde omgeving in 2050.* Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

PBL. (2013). *De ruimtelijke impact van hernieuwbare energie: Een verkenning.* Retrieved from http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/PBL_2013-de-ruimtelijke-impact-van-hernieuwbare-energie-een-verkenning-1099_0.pdf

PBL. (2017). *Toekomstbeeld klimaatneutrale warmtenetten in Nederland.*

Peters, D. (2017, 2 8). Assessing sequential cropping to produce truly sustainable biomethane. Retrieved from http://european-biogas.eu/wp-content/uploads/2017/02/6-Ecofys_Assessing-sequential-cropping-for-truly-sustainable-biomethane_EBA-workshop-8-Feb-2017.pdf

Polder PV. (2016). *Grote PV projecten >= 15 kWp*. Retrieved from http://www.polderpv.nl/PV_projecten_overzicht_22dec2016.htm#vrijeveld_installaties_gerealiseerd

Rijksoverheid. (2016). *Kamerbrief Onderzoek financieringsinstrumentarium geothermie 11 juli 2016.*

Rijksoverheid. (2016, 11 1). *Kamerbrief openstelling SDE+ 2016 najaar.* Retrieved from https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-economische-zaken/documenten/kamerstukken/2016/11/01/tweede-openstelling-sde-2016

Rijksoverheid. (2016, 11 28). *Kamerbrief over energiebesparing gebouwde omgeving.* Retrieved from https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2016/11/28/alle-kantoren-verplicht-zuinig-met-energie

Rijksoverheid. (2017, 1 27). Retrieved from Kamerbrief Stand van zaken hernieuwbare energieproductie: https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-economische-zaken/documenten/kamerstukken/2017/01/27/kamerbrief-stand-van-zaken-hernieuwbare-energieproductie

Rijksoverheid.nl. (2016). *Alle kantoren verplicht zuinig met energie*. Retrieved from https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2016/11/28/alle-kantoren-verplicht-zuinig-met-energie

RVO. (2014). *Status Rapportage Warmtepompen.*

RVO. (2015). *Industriële warmtepompen (brochure).* Utrecht: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

RVO. (2017a). *Eindstand SDE+ najaar 2016.*

RVO. (2017b). *SDE+ voorjaar 2017.*

RVO. (2017c). *Projecten in beheer SDE(+), peildatum januari 2017.* Retrieved from http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/sde/feiten-en-cijfers

Shell. (2016). *Shell scenarios*. Retrieved from http://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/scenarios.html

SMZ. (2016). *Inventarisatie PV markt Nederland - Status februari 2016.*

Solar Magazine. (2017). *F&S Solar bouwt zonnepark Haarlemmermeer*. Retrieved from https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i13320/f-s-solar-bouwt-zonnepark-haarlemmermeer-met-127-456-first-solar-zonnepanelen

Solar Magazine. (2017, Maart 3). *GroenLeven bouwt drijvend zonnepark van 23 megawattpiek op zandwinplas*. Retrieved from solarmagazine.nl: https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i13252/groenleven-bouwt-drijvend-zonnepark-van-23-megawattpiek-op-zandwinplas

Solar Solutions. (2017). *Solar Trendrapport 2017.* EG Media.

Staatscourant 7494. (2017, februari 7). Regeling van de Minister van Economische Zaken van 3 februari 2017, nr. WJZ/16156007, houdende aanwijzing van categorieën van productie-installaties voor de stimulering van duurzame energieproductie in het voorjaar van 2017. *(Regeling aanwijzing categorieën duurzame energieproductie voorjaar 2017)*. https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2017-7494.html.

Trouw. (2017, april 8). *Zonnepanelen straks ook 'made in Groningen'*. Retrieved from https://www.trouw.nl/groen/zonnepanelen-straks-ook-lsquo-made-in-groningen-rsquo-~a97af281/

Universiteit Utrecht. (2015). *Warmtepompen in de bestaande bouw in Nederland.*

UvW/IF. (2016). *Landelijke verkenning warmte en koude uit het watersysteem.* Unie van Waterschappen.

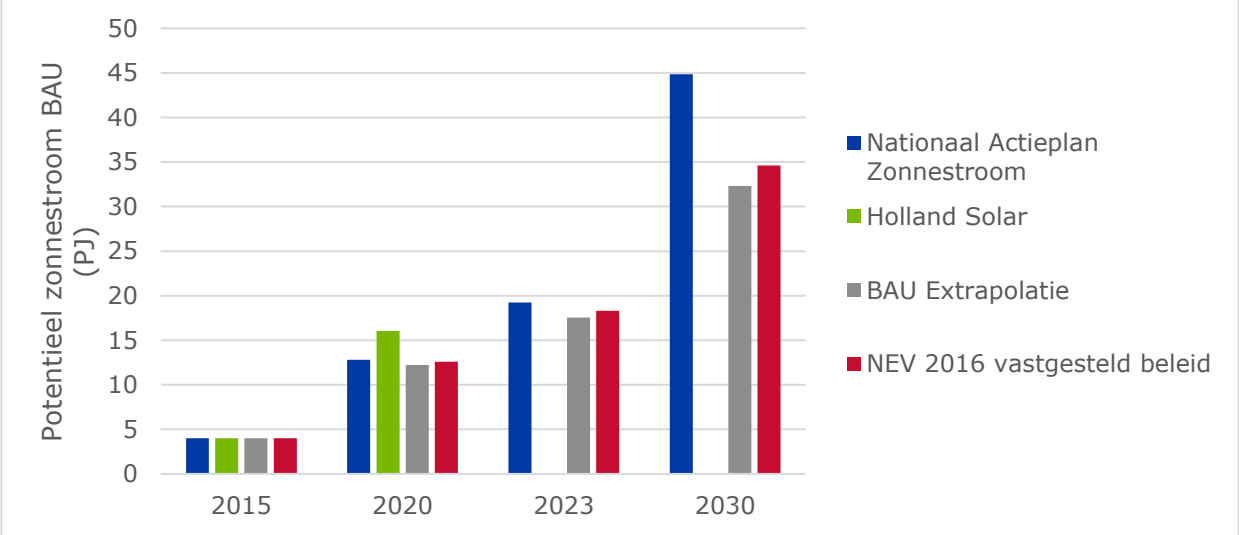
van Ackere, S., van Wijngene, K., van Eetvelde, G., & Vandevelde, L. (2015). *JERTS-studie rond kleine en middelgrote windturbines.* Iniversiteit Gent.

Wilson, A., & Broehl, J. (2017). *Market Data: Small and Medium Wind Turbines. Demand Drivers, Market Trends and Challenges, and Global Market Forecasts.* Navigant Research.

Bijlage A: BAU analyse per energiebron

Zonnestroom: BAU-marktpotentieel 2020, 2023 en 2030

Er zijn verschillende bronnen die een inschatting doen van het potentieel van zonnestroom in de zichtjaren 2020, 2023 en 2030 in Nederland. Maar de meeste bronnen verwijzen terug naar een studie van het Nationaal Actieplan Zonnestroom (NAZ), een samenwerkingsverband tussen consultancy, onderzoeksinstellingen en brancheverenigingen onder leiding van DNV GL. In dit actieplan (DNV GL, 2015) zijn verschillende groeiscenario's weergeven voor de groei van zonnestroom in Nederland. Het lage groeiscenario zou gelijkgesteld kunnen worden aan een soort BAU scenario. Naast het NAZ heeft Holland Solar een eigen inschatting gemaakt van de hoeveelheid zonnestroom in Nederland in 2020. Ook kan op basis van de ontwikkelingsgegevens van afgelopen jaren een extrapolatie gemaakt worden van de ontwikkeling van zonnestroom richting de toekomst. Het jaarlijkse bijgeplaatste vermogen neemt nog elk jaar toe. Dit is het gevolg van het huidige beleid (salderingsregeling en SDE+), de voortgaande kostprijsreductie van zon-PV, de lage rentestand, en het bijtrekken van de economie. Vooralsnog zien wij geen redenen om te veronderstellen dat dit patroon de komende jaren wezenlijk zal veranderen. In het BAU scenario nemen we aan dat tot 2030 jaarlijks gemiddeld 570 MW_p wordt bijgeplaatst, oplopend van ca. 400 MW_p in 2015 tot meer dan 700 MW_p in 2030. In onderstaande grafiek staan de hiervoor benoemde studies en extrapolatie weergeven inclusief de inschatting van het potentieel uit de NEV 2016.



Figuur 11 BAU marktpotentieel zonnestroom volgens verschillende inschattingen

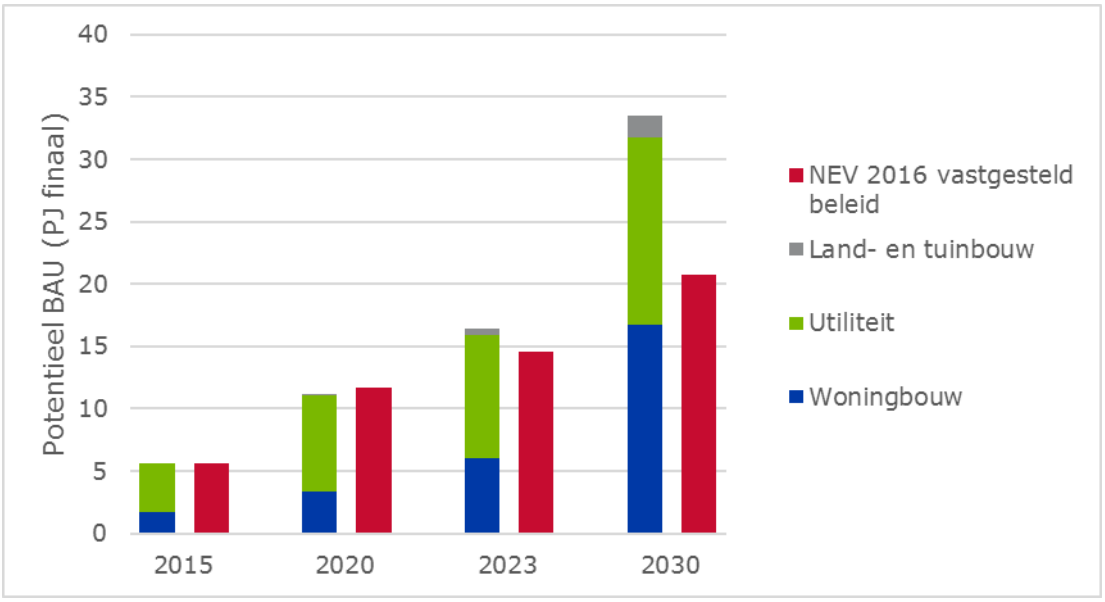
Uit bovenstaande grafiek is te zien dat de verschillende inschattingen dezelfde orde van grootte hebben, hoewel de BAU (lage groei) inschatting van Nationaal Actieplan Zonnestroom een versnelling ziet in de periode 2023-2030 ten opzichte van de andere inschattingen. Het BAU marktpotentieel van zonnestroom in 2023 is circa 4 keer zo groot als de hernieuwbare energie uit zonnestroom in 2015, wat op een significante stijging duidt, zelfs in een BAU scenario.

De toepassing van zonnestroom kan verdeeld worden over toepassing op daken en toepassing in veldopstellingen. Uit een inventarisatie van het Solar Trendrapport 2017 (Solar Solutions, 2017) blijkt dat circa 69% (1051 MW_p) van het vermogen eind 2015 geïnstalleerd is op huishoudens, wat allemaal op daken zal zijn (Figuur 3). Ook andere geïdentificeerde sectoren, waaronder de dienstensector, landbouw en industrie zullen voornamelijk zonnepanelen op de daken hebben liggen (vanwege grote dakoppervlakken). Er zijn onvoldoende gegevens beschikbaar om deze verhouding met zekerheid vast te kunnen stellen.

Omgevingswarmte: BAU-marktpotentieel 2020, 2023 en 2030

Het BAU-marktpotentieel komt grotendeels overeen met het potentieel 'geleidelijke transitie' uit het (Ecofys/ECN, 2015) rapport en het bijbehorende en voor deze studie aangepaste model. De belangrijkste uitgangspunten van het BAU-scenario worden in Bijlage D besproken.

Op basis van deze uitgangspunten is de BAU-marktpotentieel berekend voor de zichtjaren 2020, 2023 en 2030. Hierbij is het BAU potentieel van land- en tuinbouw op basis van de (CE Delft, 2015) studie opgeteld.



Figuur 12 BAU marktpotentieel hernieuwbare warmte/koude uit bodem-, buitenlucht en oppervlaktewater

Het potentieel is gebaseerd op aannames voor de ontwikkeling van lucht- en bodemwarmtepompen. In het geval van een renovatie zal er sneller gekozen worden voor een luchtwarmtepomp, omdat dat voorkomt dat bodemwerk nodig is op een locatie waar reeds woningen, straten en tuinen aanwezig zijn. Bij utiliteit zal er sneller gekozen worden voor bodemwarmtepompen in combinatie met warmte- en koude opslag (WKO), omdat dergelijke systemen een grote warmte- en koelvraag vereisen. Echter zijn in veel gevallen de systemen uitwisselbaar en in directe concurrentie met elkaar.

Bijlage B: Technisch potentieel zonnestroom

Potentieel op basis van dakoppervlak

Verschillende studies hebben een poging gedaan om dit potentieel in te schatten. Een studie van (PBL / DNV GL, 2014) heeft het maximaal realiseerbaar potentieel van alle (huidige) dakoppervlakken in Nederland ingeschat op 184 PJ zonnestroom per jaar (66 GW_p). De inschatting van het maximaal realiseerbaar potentieel door de brancheverenigingen van zonne-energie bedrijven, (Holland Solar, 2015), komt op dezelfde orde van grootte uit: 202 PJ per jaar, waarvan circa 60% aanwezig is bij huishoudens en 40% bij utiliteit en industrie[10]. In een studie van Ecofys voor Shell komt in een inschatting rond deze waardes uit: 195 PJ per jaar (in 2030, daken en façades) (Ecofys/Shell (b), 2015)[11]. Aangezien op dit moment slechts enkele PJ zonne-energie worden opgewekt, zou hier nog een enorme groei mogelijk zijn. Er dient echter ook gelet te worden op de mogelijkheden met inpassing van dergelijke vermogens in het elektriciteitsnet. In het rapport van PBL & DNV GL is berekend dat bij een goede verdeling van de capaciteit over het net in Nederland, er tot 16 GW aan vermogen geïnstalleerd kan worden zonder aanzienlijke aanpassingen in het elektriciteitsnet. Dit is slechts circa 25% van het totale potentieel op daken, maar houdt nog steeds ruimte voor een aanzienlijke groei in zonnestroom op daken.

Landbouw

Een specifiek onderdeel dat onder het potentieel van dakoppervlakken valt is de landbouw. Deze bevatten eind 2015 circa 13% van het geïnstalleerd vermogen van zonnepanelen. Op agrarische daken ligt op dit moment al een aanzienlijk aantal zonnepanelen. Agrariërs zijn vaak eigenaar van het vastgoed en zijn gewend om lange termijn investeringen te doen. Hierbij is er ook vaker sprake van kapitaalopbouw waaruit investeringen zoals zonnepanelen (gedeeltelijk) gefinancierd kunnen worden. Zonne-energie in de landbouw kan gebruik maken van de salderingsregeling voor kleingebruikers en de SDE+ voor grootgebruikers.

Vanaf 2024 zijn asbestdaken in Nederland verboden. Dit betekent dat alle daken gesaneerd moeten worden en biedt daarmee kansen voor de installatie van zonne-energie. Uit een onderzoek uit 2013 bleek dat in ruim 90% van de agrarische bedrijven nog asbest aanwezig is (AgroAbestVeilig, 2013). Het dakoppervlak dat hierbij gemoeid is, is circa 60 vierkante kilometer, waarmee circa 30 PJ opgewekt zou kunnen worden. Voor asbestverwijdering is een subsidie beschikbaar (€ 15 miljoen in 2017; 4,50 €/m^2 dakoppervlak tot €25.000 per adres). Een aantal provincies had tot 1 november 2016 een stimuleringsmaatregel ‘Asbest eraf, zonnepanelen erop’.

[10] Het totaal van 201,6 PJ dat in het (Holland Solar, 2015) rapport wordt genoemd, is geen optelsom van de individuele onderdelen. Hier wordt verwezen naar de onderdelen ‘huishoudens’ en ‘utiliteitsbouw incl. industrie’. In 0 wordt verwezen naar het onderdeel ‘astbestdaken agrarisch’, maar dit is feitelijk ook onderdeel van het totale dakoppervlak.

[11] Data per land zijn niet gepubliceerd.

Met deze maatregel is in de periode 2013-2016 bij meer dan 3400 agrarische ondernemers 89 MW_p aan zon-PV geïnstalleerd (€ 19 miljoen subsidie, 200 €/kW_p subsidie, www.asbestvanhetdak.nl).

De provincie Fryslân heeft deze regeling verlengd. De komende jaren zal moeten blijken of zowel asbestverwijdering als installatie van zon-PV (waarbij financiering met name afhankelijk zal zijn van SDE+) voldoende ontwikkeling laat zien. Holland Solar (Holland Solar, 2015) schat het potentieel van deze daken in op circa 30 PJ.

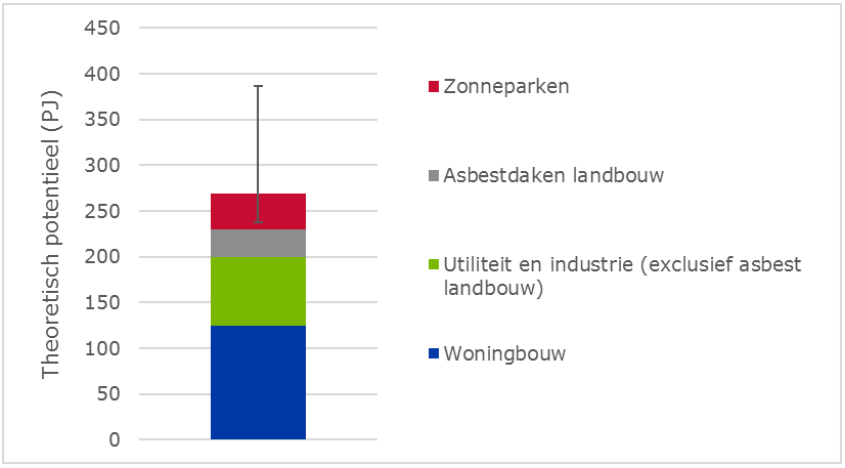
Andere oppervlakken/zonneparken

Naast de dakoppervlakken kunnen ook andere oppervlakken worden benut. Dit kan bijvoorbeeld op civiele werken, (naast) autowegen of op de grond (ook wel zonenparken genoemd). In de hierboven genoemde studie van Holland Solar is ook een inschatting gemaakt voor het theoretisch potentieel voor zonnestroom op civiele werken, parkeerruimte en langs autowegen. Een grove inschatting van dit theoretisch potentieel is 620 PJ. Hoeveel hiervan gerealiseerd kan worden hangt sterk af van de doelstelling van de overheid en de kosten van dit soort technieken in combinatie met de aanvullende eisen van deze oppervlakten. Bijvoorbeeld zonnepanelen onder wegen of parkeerplaatsen zullen een doorzichtig oppervlak moeten hebben dat onderhoudsarm is, genoeg grip biedt wanneer het glad is en de kracht en gewicht van auto's jarenlang kan weerstaan.

De potentieel voor zonneparken is echter sterk afhankelijk van de maatschappelijke acceptatie en de bereidheid om oppervlaktes zoals landbouwgrond en grasland in te zetten voor het opwekken van zonnestroom. Door het beperkte aantal zonneparken is de maatschappelijke acceptatie nog niet goed in te schatten op dit moment. Met een inschatting van het percentage van het oppervlak van landbouwgrond en grasland dat ingezet zou kunnen worden voor zon-PV komt (Ecofys/Shell (b), 2015) uit op een theoretisch potentieel 4-83 PJ in 2030 en 8-157 PJ in 2070. Hierbij wordt voor het minimum uitgegaan van het gebruik van 0,1% van de landbouwgrond en het maximum uit van gebruik van 2% van de landbouwgrond.

Het aantal veldopstellingen in de database van Polder PV (een zeer grote database van zonnepaneelprojecten) eind 2016 was 52 MW_p geïnstalleerd vermogen ((Polder PV, 2016), circa 2,5% van het totaal). Het overgrote deel hiervan is pas in 2016 geïnstalleerd, waaronder Sunport Delfzijl (30,8 MW_p, grootste zonnepark van Nederland), zonnepark XXL Assen (5,6 MW_p) en Solar Campus Purmerend (5,6 MW_p). Daarnaast zijn er ook begin 2017 al grote zonneparken aangekondigd, waaronder een groot zonnepark van 23 MW_p op een zandwinplas in Tynaarlo (Solar Magazine, 2017) en SADC Solar Park van 15 MW_p (Solar Magazine, 2017). In totaal zijn er in de SDE+ van 2016 in totaal 461 MW_p in projecten groter dan 5 MW_p toegekend. Dit zijn grotendeels zonneparken. Zelfs als maar de helft van deze projecten tot uitvoer wordt gebracht, zal dit een enorme versnelling van het aantal zonneparken betekenen. Op basis van deze nieuwe grote zonneparkprojecten lijken veldopstellingen in het afgelopen jaar een belangrijker onderdeel te vormen van het nieuw geïnstalleerd vermogen en de verwachting is dat deze trend zich door zal zetten.

Het totale (lange-termijn) theoretisch potentieel van zonnestroom in Nederland is dus in de orde van grootte van 825 tot bijna 1000 PJ als alle geschikte gebouwen, infrastructuur en een gedeelte van het niet-bebouwde deel van Nederland worden benut. Dit is meer dan twee keer het huidige elektriciteitsgebruik. In de praktijk zal slecht een klein gedeelte van dit theoretisch potentieel gerealiseerd kunnen worden. Deels vanuit financiële overwegingen, extra eisen aan zonnepanelen voor intensief gebruikte gebieden (zoals autowegen), de concurrentie met andere vormen van hernieuwbare productie, en met andere manieren om het beschikbare oppervlak te gebruiken.



Figuur 13: Theoretisch potentieel van zonnestroom, op basis van (Holland Solar, 2015) en (Ecofys/Shell (b), 2015) (exclusief civiele werken en autowegen)

In Figuur 13 wordt getoond dat het potentieel het grootst is bij de woningbouw, maar dat zonneparken in het geval van ruime beschikbaarheid van gronden (2% van de landbouwgrond) ook een groot theoretisch potentieel heeft.

Bijlage C: Toepassing omgevingswarmte

Industrie

De efficiëntie van warmtepompen is gecorreleerd aan het temperatuurverschil wat de warmtepomp moet overbruggen. Daarom is de inzet van warmtepompen over grotere temperatuurverschillen (meer dan 60°C) minder nuttig. De industrie werkt voornamelijk met temperatuurniveaus die ver boven de omgevingstemperatuur gaan (80°C of hoger). Industriële warmtepompen gebruiken vrijwel altijd restwarmte als bron (RVO, 2015). Hier is de toepassing voor warmtepompen interessant voor hergebruik van warmte uit de processen, maar niet voor het toepassen van omgevingswarmte. Industriële processen met relatief lage temperaturen, zoals de voedingsmiddelenindustrie, kunnen vaak gebruik maken van eigen restwarmte uit andere processen. In specifieke situaties zullen bodem- en buitenluchtwarmtepompen mogelijk toegepast kunnen worden, waaronder het verwarmen van industriële gebouwen, wasserettes en bij warm waterproductie voor schoonmaakdoeleinden. De toepassingen van omgevingswarmte in de industrie zijn over het geheel gezien beperkt en zullen geen significant aandeel in de duurzame energievoorziening van Nederland. Het potentieel voor duurzame warmte uit bodem- of buitenlucht wordt daarom voor de industrie niet bepaald.

Land- en tuinbouw

Glastuinbouw is veruit de grootste gebruiker van warmte in de sector land- en tuinbouw. Circa 90% van de warmte uit de land- en tuinbouw wordt in de glastuinbouw gebruikt (CBS/PBL/WUR, 2015). Voor de potentie voor duurzame warmte kan dan ook het beste naar de glastuinbouw worden gekeken. De totale warmtevraag in de glastuinbouw is circa 70 tot 80 PJ (CE Delft, 2015). Uit een onderzoek van (KEMA, 2012) blijkt dat er een grote energetische potentie is voor warmtepompen in de glastuinbouw. Maar rond 2012 was de terugverdientijd te hoog (tussen de 6 en 20 jaar (of meer)) voor investeringen in deze sector. In het verleden werd in de glastuinbouw voornamelijk ingezet op warmtekrachtkoppeling (WKK), die op dit moment circa 65% van de warmte levert in de glastuinbouw (CE Delft, 2015). WKK is een belangrijke concurrerende technologie voor warmtepompen in de glastuinbouw. Maar door de dalende elektriciteitsprijzen staan WKK's zelf ook onder druk. In (CE Delft, 2015) wordt een mogelijke ontwikkeling van de warmtevoorziening voor de glastuinbouw doorgerekend. De potentie voor warmtepompen hierin is vrij groot, circa 50% van de warmtevoorziening in 2050, terwijl de huidige warmtevoorziening met warmtepompen in de glastuinbouw verwaarloosbaar is. Van deze potentie wordt aangegeven dat het een ambitieuze uitwerking betreft. De door CE Delft berekende potentie van warmtepompen in de glastuinbouw in de zichtjaren is 0,2% van de warmtevoorziening in 2020, 1,2% in 2023 en 4,8% in 2030.

Voor het berekenen van de potentie van hernieuwbare energie met warmtepompen in glas- en tuinbouw wordt uitgegaan van de door CE Delft berekende percentages voor het BAU+PLUS scenario, en wordt de aanname gemaakt dat de helft van deze percentages voor het BAU scenario gelden.

Gebouwen

In een position paper van de Dutch Heatpump Association (DHPA, 2013) wordt uitgegaan van een sterke groei richting 14,6 PJ uit warmtepompen uit de gebouwde omgeving in 2020. Dit vraagt echt een snelle opschaling van het aantal toe te passen warmtepompen. Zo zouden er in de periode 2013-2020 gemiddeld in nieuwbouwwoningen circa 16.000 warmtepompen per jaar moeten worden geïnstalleerd om dit doel te behalen. In 2015 werden er 48,4 duizend woningen nieuw gebouwd (CBS, 2017), waarbij door netbeheerders ingeschat wordt dat circa 40 duizend aangesloten worden op gasleidingen. Dat betekent dat in 2015 in totaal slechts ruim 8 duizend woningen op een andere manier worden verwarmd, maar dit kan naast warmtepompen ook stadsverwarming, een pellet kachel of een manier van elektrisch verwarmen zijn. Het lijkt er dus op dat de benodigde versnelling om de schatting voor 2012 van de DHPA te halen nog niet is ingezet.

In de Status Rapportage Warmtepompen (RVO, 2014) wordt een BAU scenario van 12 PJ voor energie uit omgevingswarmte genoemd en een mogelijk potentieel bij intensivering van 30 PJ in 2020. Maar deze potentiëlen gingen uit van een aandeel van omgevingsenergie van 5,5 PJ in 2012, terwijl volgens de NEV 2016 in 2015 slechts 5,7 PJ uit deze bronnen werd gehaald. Het lijkt erop dat de genoemde potentiëlen uit dit oogpunt niet gehaald gaan worden. Ook in een rapport van Berenschot over hybride warmtepompen wordt een enorm potentieel toegeschreven aan deze vorm van omgevingswarmte: 8,9 PJ duurzame energie in 2023 en 23,7 PJ in 2030 voor alleen het onderdeel hybride warmtepompen (Berenschot, 2017). Dit vraagt wel een zeer snelle en hoge stijging van de toepassing van hybride warmtepompen van in 2016 circa 20.000 geïnstalleerde hybride warmtepompen naar 500.000 geïnstalleerde hybride warmtepompen in 2023. Dit vraagt de komende jaren elke jaar een versnelling van circa 60% meer hybride warmtepompen dan het jaar ervoor. Het is onduidelijk waarop deze verwachting is gebaseerd.

Bijlage D: Uitgangspunten model omgevingswarmte

Voor het model dat gebruikt wordt om de hernieuwbare warmte in de gebouwde omgeving te berekenen, worden de volgende uitgangspunten genomen voor het BAU scenario:

- De HR-gasketel blijft in de zichtjaren – zonder aanvullend beleid – een goedkopere technologie, zeker qua investeringskosten. In nieuwbouw volgt wel een grotendeelse verschuiving (65% in 2030) naar verwarming op warmtepompen. Bij bestaande bouw dienen er veel aanpassingen gedaan te worden voordat warmtepompen goed geïmplementeerd kunnen worden. Om de kosten te beperken wordt bij de meeste renovaties gekozen om naar een midden-isolatieniveau te renoveren en blijft de gasketel in de woningen aanwezig. Voor de utiliteit wordt ingeschat dat door de combinatie van warmtepompen met warmte/koude-opslag (WKO) een relatief goede businesscase oplevert en hierdoor de toepassing van duurzame warmte uit bodem sneller zal verlopen dan bij woningbouw. Dit omdat de businesscase in combinatie met koude uit de WKO in de utiliteit zorgt voor een betere businesscase.
- Bij een renovatie van de woning wordt tot 2020 in 99% van de gevallen gekozen voor een incrementele verbetering van de isolatiegraad. Slechts in een zeer beperkt aantal gevallen wordt de schil sterk geïsoleerd tot nul-op-de-meter niveau. Tussen 2020 en 2030 zal dit percentage van incrementele isolatie dalen naar 90% van de woningen.
- Op termijn zal het percentage aansluitingen op een warmtenet van het huidige 5% van de gebouwen stijgen naar 10% van de gebouwen (in 2050), de verdeling van woningbouw en utiliteit hierin is evenredig (beiden 10% van het totaal). Dit is een extrapolatie van de Nationale Energie Verkenning 2015 (ECN/PBL/CBS/RVO, 2016). Dit geldt ook voor nieuwbouw.
- Een klein deel van de bestaande woningen met midden isolatieniveau krijgt een hybride of luchtwarmtepomp (6% in 2030) en een klein deel van de hoog geïsoleerde gebouwen krijgt een lucht- of bodemwarmtepomp (7% in 2030). Tot 2020 wordt 30% van de nieuwbouw uitgerust met een warmtepomp (lucht, bodem en evt. water), tussen 2020 en 2030 is dit 65%. Voor utiliteit zijn dezelfde percentages verhoogd met een factor tussen 2 en 3 (aflopend van 3 in 2020 naar 2 in 2030). Dit is gebaseerd op de verhouding van warmteopwekking tussen utiliteit en woningbouw van circa 3 op 1.
- De HR-ketel blijft voor alle woningtypen en voor de utiliteit de dominante verwarmingstechnologie tot 2030.

Bijlage E: Thermische zonne-energie per sector

Gebouwde omgeving

Het potentieel voor zonnewarmte is echter groot en direct te relateren aan het potentieel voor zonnestroom. De opwek van zonnewarmte levert per vierkante meter circa drie tot vier keer zoveel energie op als zonnestroom. Maar deze energie is in een vorm van warmte die niet of beperkt getransporteerd kan worden. Een woning met zonneboilers zou dus 3 keer zoveel energie op kunnen wekken als zonnestroom, maar omdat de warmte binnen korte tijd (enkele tientallen uren) gebruikt moet worden, kan maar een beperkt deel van deze warmte gebruikt worden. De gebouwde omgeving, die een grote vraag heeft naar warmte dat door zonnecollectoren opgewekt kan worden, heeft dus een technisch potentieel van vele honderden PJ (het potentieel van zonnestroom maal drie). Maar wanneer de mismatch tussen opwek en gebruik wordt meegenomen kan slechts een beperkt deel van dit technisch potentieel omgezet worden in bruikbare warmte. Afhankelijk van het gebruik van de hoeveelheid tapwater en de grootte van het opslagvat dat wordt toegepast kan een zonneboilersysteem in een woning ongeveer 100 tot 300 m^3 aardgas per jaar besparen (Milieucentraal, 2016). Uitgaande van een gemiddelde van 200 m^3 en circa 7,5 miljoen woningen in Nederland (CBS, 2017) zou het maximaal realiseerbaar potentieel voor thermische zonne-energie in de woningbouw circa 52,5 PJ zijn. Maar de terugverdientijd van zonneboilers, zelfs met de huidige ISDE subsidie, is zeer hoog. Uit cijfers van Milieucentraal (2016) komt de terugverdientijd van een klein systeem uit op 37 jaar en voor een groot systeem op 17 jaar.

In de utiliteit is er vaak een kleinere vraag naar warm tapwater en daarom ook een veel beperktere vraag naar thermische zonne-energie. Specifieke sectoren die wel een grote vraag naar warm water hebben maken wel gebruik van zon-thermische energie, zoals hotels, zorgcomplexen, sportaccommodaties en zwembaden. De warm tapwatervraag in deze gebouwen is circa 5 PJ, waarvan ingeschat wordt dat circa 2,6 PJ ingevuld kan worden door thermische zonne-energie (Ecofys, 2007). Op dit moment wordt circa 0,4 PJ (Holland Solar, 2015) hiervan al ingevuld door thermische zonne-energie, wat het potentieel in deze sector relatief beperkt maakt. In andere sectoren zoals kantoorpanden, onderwijs, detailhandel en bedrijfshallen is de tapwatervraag aanzienlijk lager, waardoor de toepasbaarheid van thermische zonne-energie beperkt is.

Denemarken is een voorloper als het gaat om de toepassing van zonnewarmte in de woningbouw. Dit wordt echter niet gedaan voor individuele woningen, maar als warmtebron voor warmtenetten. De situatie in Denemarken verschilt van die in Nederland. Ten eerste omdat in Denemarken 2 op de 3 woningen aangesloten is op een warmtenet (in Nederland is dat 1 op de 20). Daarnaast is de bevolkingsdichtheid in Denenmarken een factor 3 lager dan Nederland. Daardoor zal het in Denemarken eenvoudiger en goedkoper zijn om de noodzakelijke grond vrij te maken voor de zonnecollectoren en de grote waterbassins die nodig zijn om de warmte in op te slaan. Zeker omdat de huidige warmtenetten in dichtbevolkt gebied liggen (vaak in grotere steden), zal het niet eenvoudig zijn om de Deense aanpak te vertalen naar Nederland.

Landbouw en industrie

In de landbouw (voornamelijk glastuinbouw) en industrie is er sprake van een aanzienlijke vraag naar warmte. In de glastuinbouw wordt op dit moment voornamelijk verwarmd met WKK systemen, waardoor zon-thermische systemen niet veelvuldig worden toegepast in deze sector. Ook in andere land- en tuinbouwsectoren ziet Holland Solar (Holland Solar, 2015) maar een beperkt potentieel van 2 tot 3 PJ voor thermische zonne-energie.

De industrie gebruikt veel warmte van onder de 250 °C, wat opgewekt zou kunnen worden met zonnewarmte. Holland Solar ziet hier een groot technisch potentieel van 124 PJ. Op dit moment wordt er vrijwel geen thermische zonne-energie toegepast in de industrie. Dit is voor een groot deel te wijten aan lagere warmtekosten in deze sector. Voor grootgebruikers van meer dan 170.000 m^3/jaar is de energiebelasting op gas aanzienlijk lager (6 €ct/m^3 in plaats van 25 €ct/m^3 voor kleingebruikers). Hierdoor is het relatief goedkoop om op gas te verwarmen in plaats van met zon-thermische warmte. Het daadwerkelijke potentieel is afhankelijk van veel factoren: warmtekosten, grootte van de warmtevraag en plaats en tijd van warmtevraag. Ecofys (Ecofys, 2007) ziet het inzetten van zonnewarmte in droogprocessen als een kosteneffectieve optie in de industrie met een ingeschat potentieel van 0,2 PJ.

Gezien de huidige ontwikkeling van zon-thermische systemen in landbouw en industrie en de lage warmtekosten wordt de BAU potentie in deze sectoren als beperkt geschat.

Bijlage F: Overzicht literatuur over biomassa-potentiëlen

Voor bio-energie zijn verschillende potentieel studies gemaakt (b.v. (Koppejan, Elbersen, Meeusen, & Bindraban, 2009), (Ecofys, 2007), (Ecofys/ECN, 2013), (ECN, 2014), het rapport *Biomassa 2030: Strategische visie voor de inzet van biomassa op weg naar 2030* (ECN/PBL/WUR/UU/RUG, 2015), maar ook Europese inventarisaties als *The JRC-EU-TIMES model. Bioenergy potentials for EU and neighbouring countries* (JRC et al., 2015) en wat oudere studies als vermeld onder (IRENA, 2016). Ook studies als de *Routekaart hernieuwbaar gas* (Groen Gas Forum, 2014) en *Verkenning CO_2 neutrale gastoekomst* (Berenschot, 2016) bevatten relevante informatie. Daarnaast zijn er provinciale/gemeentelijke studies die aanvullende informatie kunnen leveren (b.v. (BTG, 2013)).

In Ecofys (2007) is er gekeken naar het maximaal realiseerbaar potentieel in de woningbouw, utiliteitsbouw, glastuinbouw en industrie sector in 2020. Deze studie beperkt zich tot het potentieel warmte (circa 70 PJ) en doet daarnaast nog op basis van een literatuur een schatting voor het potentieel biogas (circa 72 PJ). Het potentieel warmte is berekend aan de hand van het toenmalige opgestelde warmte-vermogen, de vervangingsmarkt van dit vermogen en het percentage waarmee de vervangingsmarkt kan worden ingevuld door biomassa warmtekrachtcentrales en ketels.

Koppejan et al (2009) richt zich op de beschikbaarheid van biomassa in Nederland voor elektriciteit, gas en warmte in 2020, dus exclusief import van biomassa en de inzet van biomassa voor transport of als grondstof voor materialen en chemicaliën. Het potentieel is berekend voor vier verschillende scenario's aan de hand van het verwachte aanbod van verschillende biomassa stromen: primaire stromen (d.w.z. energiegewassen), primaire restromen (in het veld), secundaire reststomen (bij processen) en tertiaire restromen (d.w.z. afvalstromen). De potentiëlen in de scenario's laten een range zien van ca. 50 tot 90 PJ.

(ECN, 2014) richt zich specifiek op de vraag hoeveel procent van de vraag aan biomassa in 2020 afgedekt zou kunnen worden door de beschikbare hoeveelheid biomassa in Nederland. Hierbij baseert ECN zich wat betreft de spreiding in de biomassabeschikbaarheid in 2020 voor een groot deel op Koppejan et al. (2009).

ECOFYS Netherlands B.V. | Kanaalweg 15G | 3526 KL Utrecht| **T** +31 (0)30 662-3300 | **F** +31 (0)30 662-3301 | **E** info@ecofys.com | **I** www.ecofys.com

ECOFYS

A Navigant Company

ECOFYS Netherlands B.V.

Kanaalweg 15G
3526 KL Utrecht

T: +31 (0) 30 662-3300
F: +31 (0) 30 662-3301

E: info@ecofys.com
I: www.ecofys.com