



KENNISDOSSIER ZONNE-ENERGIE

Energietransitie Groei aantal zonnepanelen

Werking zonnecellen Salderingsregeling

Netcongestie Waar liggen zonnepanelen?

Smart Grid Recycling van zonnepanelen

Duurzaam wonen Energiecoöperaties

Energieopslag Aardwarmte Biomassa

Kernenergie Opslag CO₂ Waterstof

Woord vooraf

Vanaf 2019 heb in ruim 75 blogposts geschreven over (zonne)energie. Een aantal daarvan is gepubliceerd op de website van [Expirion, experts in solar and storage](#), andere op de website van [Amsterdam Smart City](#). Ik heb de meest geschikte posts geactualiseerd en teruggebracht tot de 15 hoofdstukken van dit kennisdossier. Dit dossier biedt goed toegankelijke informatie voor iedereen die geïnteresseerd is in de energietransitie. Zij die werkzaam zijn in het onderwijs, kunnen er teksten en beeldmateriaal uithalen om te werken met leerlingen en studenten. Ik heb ook illustratiemateriaal gezocht dat vrij is van rechten; ik hoop dat dit inderdaad is gelukt. Het dossier bestaat uit drie delen.

Het **eerste deel** is geheel gewijd aan het winnen van zonne-energie. Je leest er alles in over zonnepanelen, hun ontwikkeling, innovaties en de meest uiteenlopende plaatsen waar je ze kunt vinden. Het **tweede deel** plaatst het winnen van zonne-energie in het bredere kader van de energiepolitiek. De groei van het aantal zonnepanelen in Nederland is gestimuleerd door de salderingsregeling. Bezitters van zonnepanelen krijgen voor de energie die ze terug leveren aan het net even veel vergoed als de energie die ze aan het net onttrekken. Dat is een riantte propositie waaraan grote nadelen blijken te kleven. De broodnodige opslag van energie is erdoor gestagneerd en het net is inmiddels zo overbelast dat in delen van het land geen aansluiting van duurzame energiebronnen meer mogelijk is. Verder ga ik in op de grote rol van huisbezitters om zelf initiatieven te nemen om hun huizen duurzamer te maken.

Het **derde deel** levert de bouwstenen voor duurzame energievoorziening in de toekomst. Centraal staat de opslag van energie, een onmisbare en verwaarloosde schakel in de weg naar duurzame energie. Vervolgens komen aan de orde aardwarmte, biomassa, het opvangen en bewaren van CO₂ en kernenergie. Allen bronnen van energie die volgens sommigen een noodzakelijke bijdrage moeten leveren aan de energietransitie maar volgens anderen ongewenst zijn. Het laatste hoofdstuk gaat over waterstof. Inmiddels is iedereen het erover eens dat de rol daarvan als opslagmedium, grondstof en brandstof onmisbaar zal zijn, maar dat de beschikbaarheid in de gewenste hoeveelheid vooralsnog problematisch is. Ik eindig met een persoonlijke stellingname.

Herman van den Bosch

herman.vandenbosch@ou.nl

Over de auteur



Ik ben opgeleid als sociaalgeograaf en nu als hoogleraar verbonden aan de Open Universiteit. De laatste

10 jaar heb ik me beziggehouden met regionale ontwikkeling ('lerende regio's), innovatiemanagement en stedelijke ontwikkeling. Wat dat laatste onderwerp betreft heb ik veel geschreven over de hype rond 'smart cities' en probeer ik te ontdekken hoe steden een meer humaan karakter kunnen krijgen.

Inhoud

Woord vooraf	2	1. Op bedrijfsdaken	38
Inhoud	3	2. In ramen	40
FEITEN OM TE ONTHOUDEN	5	3. Tegen gevels	42
DE BEHOEFTE AAN DUURZAME ENERGIE IN 2050	7	4 Op wegen	43
1 De omvang van de energietransitie	7	5. Op geluidsschermen	46
2 De vraag naar capaciteit voor de productie van elektriciteit	9	6. In asfalt	48
3 Toekomstige Kosten energie(transitie)	10	7. In plaats van mais	50
OPENSTAANDE KEUZEN	11	8. Op het plassen en meren	53
1. Naar een duurzame integrale infrastructuur	11	9. In de zee	55
2. Vier scenario's	13	10. Concurrerende natuurbelangen	56
3. De kosten van de energietransitie	20	RECYCLING ZONNEPANELEN: NAAR DE MAAN EN TERUG	59
ENERGIETRANSITIE MOGELIJK DANKZIJ DE ZONNECEL	22	1. De noodzaak van recycling	59
1 De groei van het gebruik van zonne-energie	23	2. Scheiding van componenten	60
2 De basis: de zonnecel van silicium	23	MANIEREN OM NETVERZWARING TE VOORKOMEN	61
3 De gestokte doorbraak van het CIS-paneel	25	1 Dilemma overheid	61
4 Hoe meer rendement te halen valt uit de silicium cel	26	2 Capaciteitsmaatregelen op de korte termijn	62
5 Verdere innovatie	29	3 Netwerkmanagement	63
VAN ZONNEPANEEL NAAR ZONNEDAK EN ZONNEPAN	34	SMART GRIDS: WAAR TECHNIEK, DIGITALE EN SOCIALE INNOVATIE SAMENKOMEN	65
1. De esthetische waarde van zonnedaken	34	1 Van gecentraliseerde naar gedecentraliseerde elektriciteitsvoorziening	65
2. Brandgevaar	36	2 Minigrids en microgrids	66
ZONNEPANELEN KUNNEN (BIJNA) OVERAL LIGGEN	38	3 De virtuele energiecentrale	67
		4 De waarde van blockchain	69
		SAMENWERKEN IN EEN ENERGIECOÖPERATIE	70
		1 Samenwerken geeft energie	70

2 Professionele ondersteuning	71	3. Midden- en hoge temperatuur warmte	104
3 Wijkniveau: Voorbeelden in Nederland	71	4. Lage temperatuur warmte	106
4 Feldheim: Een energie-autarkisch dorp	72	BIOMASSA	108
5 ReGen Villages: Totale autarkie	74	1. Wat is biomassa?	108
DUURZAAM MAKEN VAN JE WONING. VOOR JEZELF EN DE AARDE	76	2. Het gebruik van biomassa	109
1. Van het gas af: nu meer dan ooit	76	3. Het debat over biomassa	111
2. Vermindering energiegebruik in huizen uit de periode 1920 – 1940	79	VERWIJDEREN, OPVANGEN EN OPSLAAN VAN CO ₂	113
3. Subsidies en leningen	81	KERNSPLITSING EN KERNFUSIE	115
4. Zonnepanelen op huurwoningen	81	1. Kernsplitsing	115
5. Zonnepanelen op corporatiebezit	82	2. Geen kernenergie maar kernfusie?	119
ZONDER ENERGIEOPSLAG GEEN ENERGIETRANSITIE	85	WATERSTOF	122
1 Het eenzijdige accent op de aanschaf van zonnepanelen	85	1. De productie van waterstof	122
2 Korte termijn opslag	88	2. Het potentiële aanbod van groene waterstof	123
3. Seizoensopslag	94	3. Opslag en transport	124
4. Overige duurzame energiebronnen	100	4. Opslag van elektriciteit	125
AARDWARMTE	101	5. Overige toepassingen van waterstof	126
1. De winning van aardwarmte	101	6. Naar een waterstofbeleid	127
2. De reserves van aardwarmte	103	ONZE TOEKOMSTIGE ENERGIEVOORZIENING	130

Feiten om te onthouden

Enkele basale begrippen

Watt:

Maat voor elektrisch vermogen. Een zonnepaneel met een vermogen van 300 watt produceert onder ideale omstandigheden een constante 'stroom' van 300 watt. Daarom wordt in dit geval van wattpiek gesproken.

Joule / kilowattuur

Maten voor de hoeveelheid geproduceerde energie binnen een gegeven hoeveelheid tijd.

1 joule is de productie (of het verbruik) van 1 watt per seconde.

1 kilowattuur is de productie (of het gebruik) van 1000 watt gedurende een uur.

Het energieverbruik van een gemiddeld huishouden per jaar

Aardgas

1500 m³; komt overeen met 15.000 kilowattuur

Elektriciteit

3500 kilowattuur

Brandstof

Benzineauto (bij 20.000 km per jaar en verbruik 1: 20) 1000 liter per jaar wat overeen komt met 10.000 kilowattuur

Elektrische auto (BMW i3): bij 20.000 km per jaar 3200 kilowattuur.

Treinreis: 1 km (benzine)auto = 4 km per trein.

Vliegtuigreis: 1 km (benzine)auto = 1 km per vliegtuig (per persoon)

De zon als energieleverancier

Vermogen per paneel

Het vermogen van een zonnepanelen varieert van 250 - 350 wattpiek. Dat wil zeggen dat ze onder ideale omstandigheden (loodrechte inval van zonnestraling, alle dagen per jaar gedurende 8 uur per dag) 250 resp. 350 kilowattuur aan elektriciteit per jaar produceren.

Dergelijke ideale omstandigheden doen zich in Nederland niet voor. Uitgangspunt is daarom dat een paneel van 300 wattpiek gemiddeld 250 kilowattuur per jaar oplevert.

Voor het gemiddelde huishouden zijn 14 zonnepanelen voldoende zijn om de behoefte aan elektriciteit te dekken.

Het ruimtebeslag van zonnepanelen

Zonnepanelen zijn verspreid over daken van particulieren en bedrijfsgebouwen, maar ze kunnen ook 'grondgebonden' zijn (zonneparken, zonneweiden) en inmiddels zijn er veel meer mogelijkheden (zie elders in dit dossier).

Panelen op dak:

Het aantal panelen dat op een dak past varieert sterk. Op een schuinstaand dakoppervlak van 100 x 100 m. zonder ramen en schoorstenen passen minimaal 4500 zonnepanelen (stroom voor 350 gemiddelde huishoudens).

Grondgebonden panelen

Op een zonneweide van 1 ha passen ongeveer 2500 zonnepanelen. Dit is goed voor 175 gemiddelde huishoudens.

Bij een aanzienlijk groter aaneengesloten oppervlak loopt dit aantal op tot 4500 panelen - of meer - per ha (goed voor ruim 350 gemiddelde huishoudens).

Soms lenen grote oppervlakten zich voor de plaatsing van windmolens en zonnepanelen tegelijkertijd.

De kosten van een zonnepark van 100.000 panelen (25 ha) bedragen ongeveer €25 miljoen.

De wind als energieleverancier

Vermogen per windmolen

Het vermogen per windmolen (in megawatt) groeit snel. De molens die nu in windparken op land worden geplaatst hebben per stuk een vermogen van 3,5 megawatt.

Het vermogen van windmolens bedraagt inmiddels 10 megawatt en groeit verder.

De tijd die windmolens energie produceren wordt herleid op zogenaamde vollasturen. Het aantal vollasturen op land wordt gesteld op 2500 en dat op zee op 4000 per jaar. Er zijn overigens ook vermeldingen van hogere en lagere waarden in omloop.

Een windmolen met een vermogen van 3,5 megawatt op land levert 8,75 miljoen kilowattuur aan energie (goed voor 2500 gemiddelde huishoudens)

Een windmolens met een vermogen op van 10 megawatt op zee levert 40 miljoen kilowattuur aan energie (goed voor 11.500 gemiddelde huishoudens)

Ruimtebeslag van windmolens

Windmolens moeten voldoende onderlinge afstand hebben. Een windmolenpark in Drenthe telt 50 molens van 3 megawatt op een oppervlak van 500 ha. Het oppervlak doet er niet zo veel toe; het gebied blijft ook geschikt voor andere doeleinden (agrarisch, natuur). Zij leveren samen 320 miljoen kilowatt aan vermogen. Bij 2000 volwinduren levert dat 640 miljoen kilowattuur op. Dit is stroom voor 90.000 gemiddelde huishoudens. De kosten bedroegen € 200 miljoen.



De behoefte aan duurzame energie in 2050

Inhoud

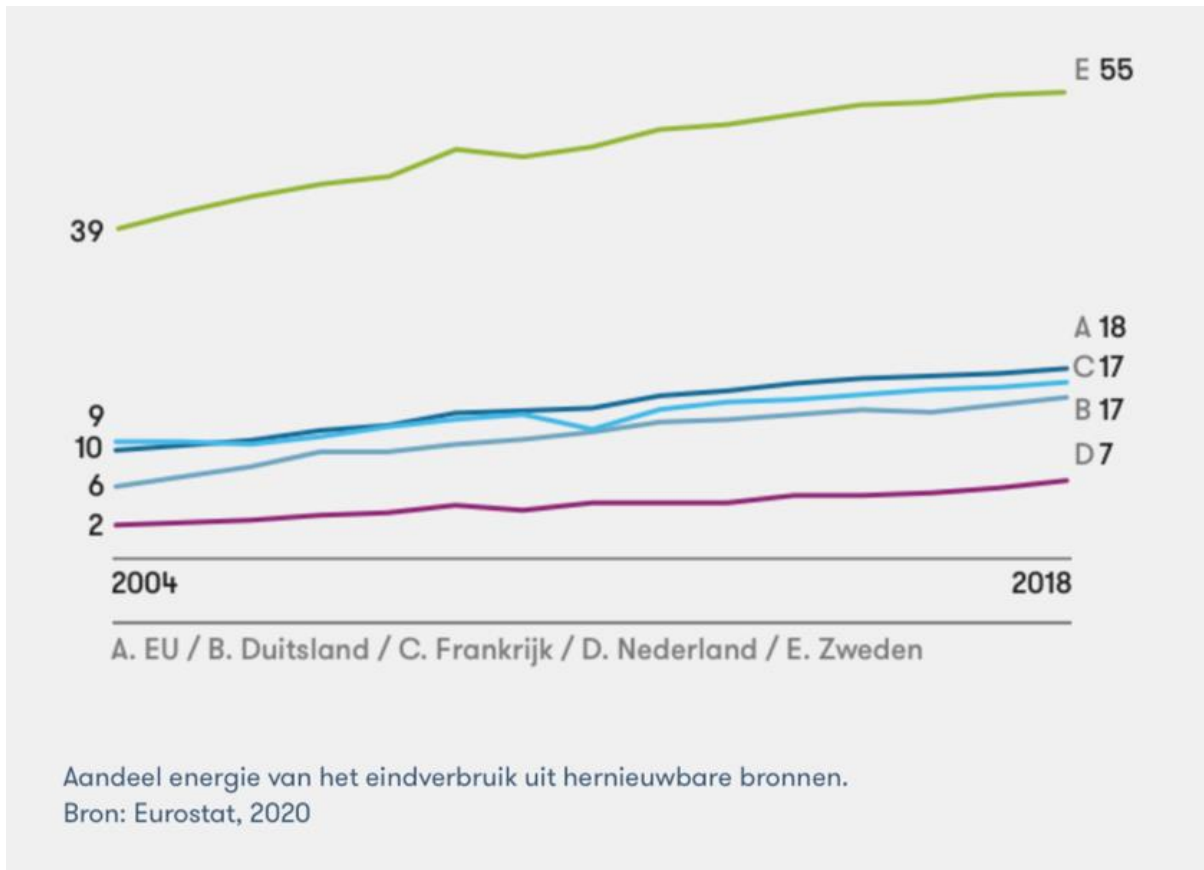
- 1 De omvang van de energietransitie
- 2 De vraag naar capaciteit voor de productie van elektriciteit
- 3 Kosten energietransitie

1 De omvang van de energietransitie

In de komende 30 jaar moet Nederland de CO₂-uitstoot verminderen naar bijna nul. Een enorme opgave, voor Nederland nog meer dan voor andere landen (Afbeelding volgende pagina). Nu al ligt Nederland ver achter op het doel om in 2030 de uitstoot te verlagen tot 49% (ten opzichte van 1990). Hieronder ga ik in op de omvang van deze operatie en de keuzen die nog gemaakt moeten worden.

Als eerste stap op weg naar de uitwerking het klimaatakkoord hebben 30 regio's een Regionale Energiestrategie opgesteld. De regio's moesten plannen maken om samen in 2030 in totaal 126 petajoule¹ (= 36 miljard kilowattuur) aan groene elektriciteit op te wekken naast de zonne-energie die particulieren opwekken. Dat is gelukt, al verkeren veel plannen nog in een beginfase. Elk van de betrokken regio's moet bovendien de warmtevraag afstemmen, maar dat kan pas begin 2022 omdat gemeenten tot dan bezig zijn met het maken van warmteplannen op wijkniveau. De rijksoverheid heeft uit oogpunt van vergroting van draagvlak gekozen voor een decentrale aanpak. Door de pandemie is de bevolking pas in een laat stadium in de plannen gekend.

¹ Wie petajoule een lastig begrip vindt, deelt het aantal petajoules door 3,5 en dat levert dan de waarde in miljarden kilowattuur op.



De toekomstige vraag naar energie

Op dit moment bedraagt de energievraag in Nederland ruim 2600 petajoule (elektriciteit, warmte, brandstof én grondstoffen).

Voor 2050 wordt rekening gehouden met een finale energievraag van tussen de 1800 en 2500 petajoule. Deze enorme variatie hangt vooraf af van de vraag hoe de economie zich zal ontwikkelen en ook hoeveel energieverlies wordt geaccepteerd bij de omzetting van zonne-energie naar bijvoorbeeld waterstof om daar later weer elektriciteit van te maken.

In het huidige en toekomstige gebruik zijn niet de 700 petajoule inbegrepen voor schepen en vliegtuigen die hier tanken. Hierbij zal biobrandstof en vooral waterstof een belangrijke rol gaan spelen.

Duurzame elektriciteit

De schattingen van de vraag naar duurzame elektriciteit in 2050 variëren lopen uiteen van 750 - 1250 petajoule, afhankelijk van een aantal onzekere factoren en aannames. Daarop gaat het volgende hoofdstuk uitgebreid in. Zon en wind zullen de voornaamste leveranciers zijn, tenzij alsnog gekozen wordt voor de inzet van kernenergie, die weliswaar CO₂-arm is, maar niet duurzaam omdat de wereldvoorraad aan uranium in 2100 verbruikt zal zijn. De behoefte aan productiecapaciteit ('opgesteld vermogen') voor zonne- en windenergie in Nederland zelf kan overigens aanmerkelijk lager uitkomen als op grote schaal gebruik gemaakt gaat worden van geothermische energie en van ingevoerde elektriciteit, waterstof of biomassa.

Als het om wind- en zonne-energie gaat, is de keuze niet moeilijk. Vooral windmolens op zee en in mindere mate op land hebben een enorm potentieel. Wat zonne-energie betreft heeft maximaal benutten van de capaciteit van daken, muren en ramen van woningen en bedrijfsgebouwen, wateroppervlak en langs snelwegen de voorkeur. De stemming is dat terughoudendheid gewenst is bij de aanleg van grondgebonden panelen. De beschikbaarheid van zonne- en windenergie varieert dagelijks en tussen de seizoenen. Er zijn dus altijd omvangrijke reservevoorraden nodig. Hoe energie het beste kan worden opgeslagen, komt later uitvoerig aan de orde. Een belangrijke regel is dat de meest stabiele dagelijkse en jaarlijkse aanvoer van duurzame energie wordt bereikt als er minstens tweemaal zo veel windenergie beschikbaar is dan zonne-energie.

2 De vraag naar capaciteit voor de productie van elektriciteit

Voor zover ik weet heeft nog niemand een voorkeur uitgesproken voor een van deze scenario's, of een keuze ervan. Ik verwacht dat de opbrengst met behulp van windmolens in de zee in het nationale scenario lastig te behalen is en ook niet gehaald hoeft te worden als de voorziene productie van waterstof op zee wordt vervangen door waarschijnlijk veel goedkopere import.

Ik blijf bij het onderstaande rekenvoorbeeld uit van 1000 petajoule (360 miljard kilowattuur) op te wekken door middel van zonne- en windenergie, waarbij geldt dat minimaal $\frac{2}{3}$ van energie afkomstig is van de wind (668 petajoule; 188 miljard kilowattuur) en $\frac{1}{3}$ van de zon (332 petajoule, 92 miljard kilowattuur). Nu produceren we jaarlijks netto ruim 400 petajoule (110 miljard kilowattuur).

Hoeveel windturbines leveren samen 188 miljard kilowattuur windenergie op?

In 2020 leverde het geplaatste vermogen van windturbines (4000 megawatt) 10 miljard kilowattuur op. De resterende vraag (178 miljard kilowattuur) kan komen uit 2400 molens extra op het land (3,5 megawatt capaciteit, 2500 volwinduren) Dit levert ruim 20 miljard kilowattuur op aan capaciteit. De overige 158 miljard kilowattuur zou moeten komen van 4.000 molens op zee (10 megawatt, 4000 volwinduren).

Volgens de [Nederlandse Windmolen Associatie](#) is er op de Noordzee plaats voor 25.000 windmolens met een capaciteit van 10 megawatt, waarvan er 3400 kunnen staan op het Nederlandse deel. Ik kom hierop bij een update van deze bundel nog terug.

Hoeveel zonnepanelen leveren samen 92 miljard kilowattuur zonne-energie op?

Eind 2020 was er in Nederland bijna 11.000 megawatt aan vermogen geplaatst, hetgeen ruim 8 miljard kilowattuur oplevert. Nog te plaatsen zijn daarom nog 84 miljard kilowattuur.

[Deloitte](#) heeft onlangs berekend dat er in Nederland 892 km² bruikbaar dakoppervlak is. (400 m² op bedrijfsgebouwen en de rest op particuliere huizen. Daarop passen volgens Deloitte in totaal 270 miljoen panelen. Samen zijn die goed voor 60 miljard kilowattuur. Rest nog 24 miljard kilowattuur.

Er resteren dan 69 miljoen panelen (24 miljard kilowattuur). Deze zullen een 'grond- of oppervlaktewater-gebonden' karakter moeten hebben. Ervan uitgaande dat er 450.000 panelen op een km² grond of oppervlaktewater geplaatst kunnen worden, betekent dit dat ongeveer 150 km² aan grond of oppervlaktewater met zonnepanelen bedekt moet worden. De grond kan deels dezelfde

zijn al waar ook windmolens komen te staan. Om dit te halen moeten er vanaf 2020 elk jaar ruim 9 miljoen panelen bijkomen. Iets dat de laatste twee jaren al ruim wordt gehaald.

Plaatsing van zonnepanelen op daken heeft een brede voorkeur omdat het landschap hiermee maximaal wordt gespaard. Het is echter de vraag of een zo exclusieve nadruk op zonnepanelen op daken als in het bovenstaande rekenvoorbeeld uitvoerbaar is. Realisering is afhankelijk van de bereidheid van 100.000den particulieren en bedrijven. Deze oplossing is verreweg de duurste variant, vanwege de veelal kleinschalige montage maar ook door de vele aansluitingen op het net. Bovendien zijn er alternatieven waarvan de impact op het landschap ook beperkt is. In een volgende update van deze bundel (begin mei 2022) ga ik dieper in op een mogelijke optimale mix van vormen van zonne-energie.

Als we in plaats van zonnepanelen gebruik maken van zonnecollectoren voor de productie van warm water (douchen verwarming, kraan), dan daalt het aantal aanzienlijk omdat zonnecollectoren een hoger energetisch rendement hebben. De efficiëntie van zonnecollectoren tot 80%, waar die van een zonnepaneel ongeveer 20% is. Almere heeft 520 zonnecollectoren geplaatst op een zogenaamde 'zoneiland' (Zie titelafbeelding: Zoneiland Almere - Foto: Nuon). Per jaar leveren deze 2,7 miljoen kilowattuur. Aanzienlijk meer dan als er op hetzelfde oppervlak zonnepanelen waren geplaatst. Deze optie is voor een deel van de nog te plaatsen zonnepanelen zeker te overwegen. Ook interessant zijn nieuwe innovatieve zonnepanelen die zowel elektriciteit als warm tapwater produceren en daarvoor deels de in een zonnepaneel vrijkomende (rest)warmte gebruiken. Dit type panelen komt in het volgende hoofdstuk aan de orde.

3 Toekomstige Kosten energie(transitie)

[McKinsey](#) heeft berekend dat de totale kosten voor de het energiesysteem de komende 30 jaar in Europa in de buurt liggen van € 28.000 miljard (inclusief alle investeringen). Dit komt neer op 4% van het bruto nationaal inkomen. Voor Nederland gaat dat om jaarlijks 30 – 50 miljard. Dit bedrag is afhankelijk een aantal uitgangspunten. Ik kom daar in het volgende hoofdstuk op terug. Een groot deel van de investeringen zou moeten komen uit herbestemming van investeringen door het bedrijfsleven. Hiervan is vooralsnog maar in beperkte mate sprake. De € 1000 miljard die de Europese Unie uittrekt voor de Green Deal is slechts een bescheiden begin.

De [Raad voor de leefomgeving en infrastructuur](#) schat de totale investering om de Nederlandse woningvoorraad voor 2030 energieneutraal te maken op \$ 255 miljard, deels terug te verdienen met lagere energiekosten. De kosten voor isolatie en apparatuur komen voor de eigenaars, de kosten voor de verzwaring van het elektriciteitsnet, de aanleg van een warmtenet of een eventuele aanpassing van het aardgasnet zijn een publieke aangelegenheid.

Uiteraard zullen alle investeringen bedrijven een impuls geven en ook de kwaliteit van het werk en misschien ook de inkomensverdeling verbeteren. Maar dat zal niet vanzelf gaan. Alle overheden zullen er op elk niveau op moeten letten dat de European Green Deal ook een 'social deal' is. De totale kosten tot 2050 worden geschat op € 750 miljard. Het geld is niet het voornaamste probleem. Onbekend is andere welke problemen er nog gaan opdoemen. Een daarvan is in elk geval het nu al nijpende tekort aan vakmensen.



Openstaande keuzen

Inhoud

1. Naar een duurzame integrale infrastructuur
2. Vier scenario's
3. De kosten van het energiesysteem van de toekomst

Terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen voor 2050 is technisch mogelijk. Maar er moeten nog heel wat keuzen worden gemaakt. Elektrificatie speelt in alle opties een belangrijke rol, maar de omvang daarvan is sterk afhankelijk van de mate waarin warmtenetten uitgerold zullen worden die restwarmte van de industrie of geothermische energie gebruiken en vooral ook hoe de pieken in vraag en aanbod opgevangen gaan worden, welke methode voor energieopslag zal worden gebruikt en de mate waarin we over waterstof kunnen beschikken. Een belangrijke rol speelt het antwoord op de vraag hoe zelfvoorzienend Nederland wil zijn.

1. Naar een duurzame integrale infrastructuur

De nationale (Tennet, Gasunie) en regionale (Coteq, Enduris, Enexis, Alliander, Rendo, Stedin en Westland infra) netbeheerders onderzoeken al jaren hoe Nederland op de lange termijn kan beschikken over een betrouwbaar systeem voor transport van opslag van energie. Twee belangrijke uitgangspunten daarbij zijn de enorme pieken die zich in het aanbod en in de vraag zullen voordoen en hoe de conversie tussen verschillende energiedragers (van elektriciteit naar warmte en van elektriciteit naar waterstof en omgekeerd) het beste kunnen worden georganiseerd.

Wat dat betreft was het 'oude' systeem veel eenvoudiger. Elektriciteit werd in regelbare centrales naar gelang de omvang van de vraag geproduceerd en het net was berekend op schommelingen in de vraag. Nu de vraag gaat toenemend, er honderdduizenden aanbieders zijn, er reserves moeten worden aangelegd en verschillende energiedragers een rol spelen moet er een nieuw geïntegreerd systeem komen met voorzieningen om voor de nodige flexibiliteit te zorgen.

Een eerste aanzet voor hoe dit systeem gaat uitzien is te vinden in het rapport [Net voor de toekomst](#) in opdracht van de netbeheerders geschreven door CE Delft (2017). Dit rapport introduceert de notie dat de toekomstige energievraag met beste kan worden benaderd vanuit een viertal scenario's. Dit rapport heeft de basis gelegd door het omvangrijke project Integrale infrastructuurverkenning 2030 – 2050. De eerste fase daarvan werd afgerond door het rapport [Klimaatneutrale energiescenario's](#), opgesteld door de bureaus Berenschot en Kalavasta (2000). Dit geeft een kwantitatieve onderbouwing van de scenario's en beschrijft deze voor het eerst als samenhangende energiesystemen.

De netbeheerders hebben aan de bureaus [Berenschot en Kalavasta](#) gevraagd om enkele alternatieve scenario's uit te werken. Het rapport *Klimaatneutrale energiescenario's 2050, een scenario-studie* geeft hierover uitsluitsel aan de hand van vier alternatieven. Van dit rapport is inmiddels een definitieve versie verschenen, inclusief gedetailleerde berekeningen voor de kosten, inclusief netuitbreiding of alternatieven daarvoor. Dit rapport was de opmaat van het lijvige rapport [Het energiesysteem van de toekomst. Integrale infrastructuurverkenning 2030 – 2050](#) (2021). Het is gepubliceerd onder directe verantwoordelijkheid van de betrokken netbeheerders en dat een gedetailleerde mutwerking omvat van de vier scenario's en de componenten daarvan. Dit hoofdstuk leunt sterk op dit rapport.

Alvorens in te gaan op de vier scenario's, sta ik stil bij het huidige energiesysteem. Belangrijk is dat alle energiesystemen in onderscheid maken tussen primaire energie en finale energie. De primaire energie zijn de bronnen waarmee energie wordt gemaakt, bijvoorbeeld aardolie. De finale energievraag is hetgeen de eindgebruikers nodig hebben. Tussen input en output zitten allerlei processen, zoals de raffinage van aardolie om onder andere autobrandstof te maken. Sommige bronnen worden zonder veel bewerking doorgegeven aan de eindgebruiker, zoals een deel van het aardgas, waar alleen een geurtje aan wordt toegevoegd.

Het hele proces van primaire naar finale energie kan schematisch worden weergegeven met behulp van een Shanky diagram. De afbeelding op de volgende pagina toont de energiehuishouding van Nederland in 2017. Een recenter diagram heb ik niet gevonden, maar verschilt principieel weinig van deze afbeelding. Opvallend is uiteraard de enorme afhankelijkheid van fossiele bronnen en de minimale hoeveelheid duurzame energie die daar tegenover staat. Ook valt op dat meer dan 30% van de primaire energie verloren gaat tijdens de omzetting van primaire in secundaire energie. Deze verliezen zijn voor een klein deel veroorzaakt door het niet voldoende gebruiken van restwarmte, maar vooral betreft het de broeikasgassen die in de atmosfeer, de oceanen en de biosfeer verdwijnen en die uiteraard de aanleiding zijn van de hele energietransitie. Wederom ontbreekt ook hier de energie voor de lucht- en zeevaart, goed voor 700 petajoule en 6% extra

CO₂- uitstoot. Een vergelijkbaar diagram dat wel het verbruik van de internationale lucht- en zeevaart toont is te vinden in de publicatie [Via Parijs](#), geschreven door het College van rijksadviseurs (2019).

Dit systeem moet de komende decennia geheel veranderen en plaatsmaken voor een klimaatneutrale huishouding, voor minimaal 695% vrij van CO₂-uitstoot.





2. Vier scenario's

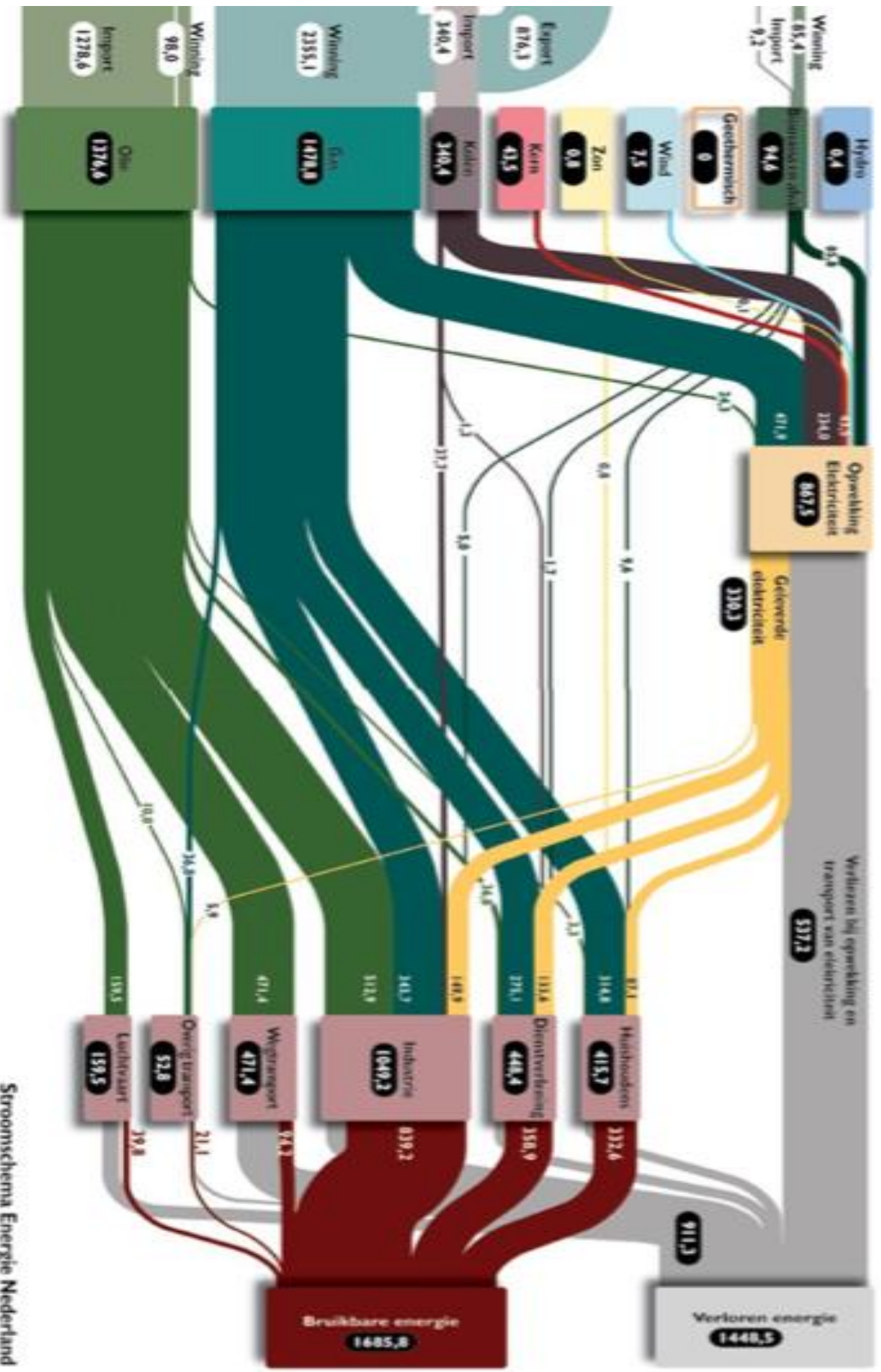
De afgelopen jaren is een viertal scenario's uitgekristalliseerd, die elk staan voor een stelsel van duurzame integrale infrastructuur. Deze moeten niet als blauwdrukken worden gezien, maar als 'studiemodellen'. De verwachting is dat deze uiteindelijk tot een combinatie van afzonderlijke componenten zullen leiden, vooral ook omdat nu al een keuze maken lastig is vanwege uiteenlopende onzekerheden. In de al genoemde publicatie 'Via Parijs' leggen de rijksadviseurs hún keuze voor.

Bij de beschrijving hiervan gebruik ik wederom Sankey-diagrammen, nu afkomstig uit het rapport 'Het energiesysteem voor de toekomst'. De scenario's zijn regionale sturing, nationale sturing, Europese CO₂-sturing en internationale sturing. De naamgeving verwijst naar de manier waarop de uiteindelijke besluitvorming tot stand komt. In het regionale model zijn dat lokale gemeenschappen, aansluitend bij de regio's die nu al verantwoordelijk zijn voor regionale energiestrategieën. In het nationale scenario speelt de Nederlandse overheid een belangrijke rol. In het Europese CO₂-sturingsscenario speelt het effect van een Europese CO₂-heffing een (markt)bepalende rol en in het Internationale scenario wordt ervan uitgegaan dat alle landen op de wereldmarkt de goedkoopste vormen van energie aanschaffen.

De aanduiding van de hoeveelheid energie gebeurt in terawattuur. 1 terawattuur staat voor 1 miljard kilowattuur of te wel 3,6 petajoule.

De onderstaande afbeelding vat de keuzen voor elk van de scenario's samen.

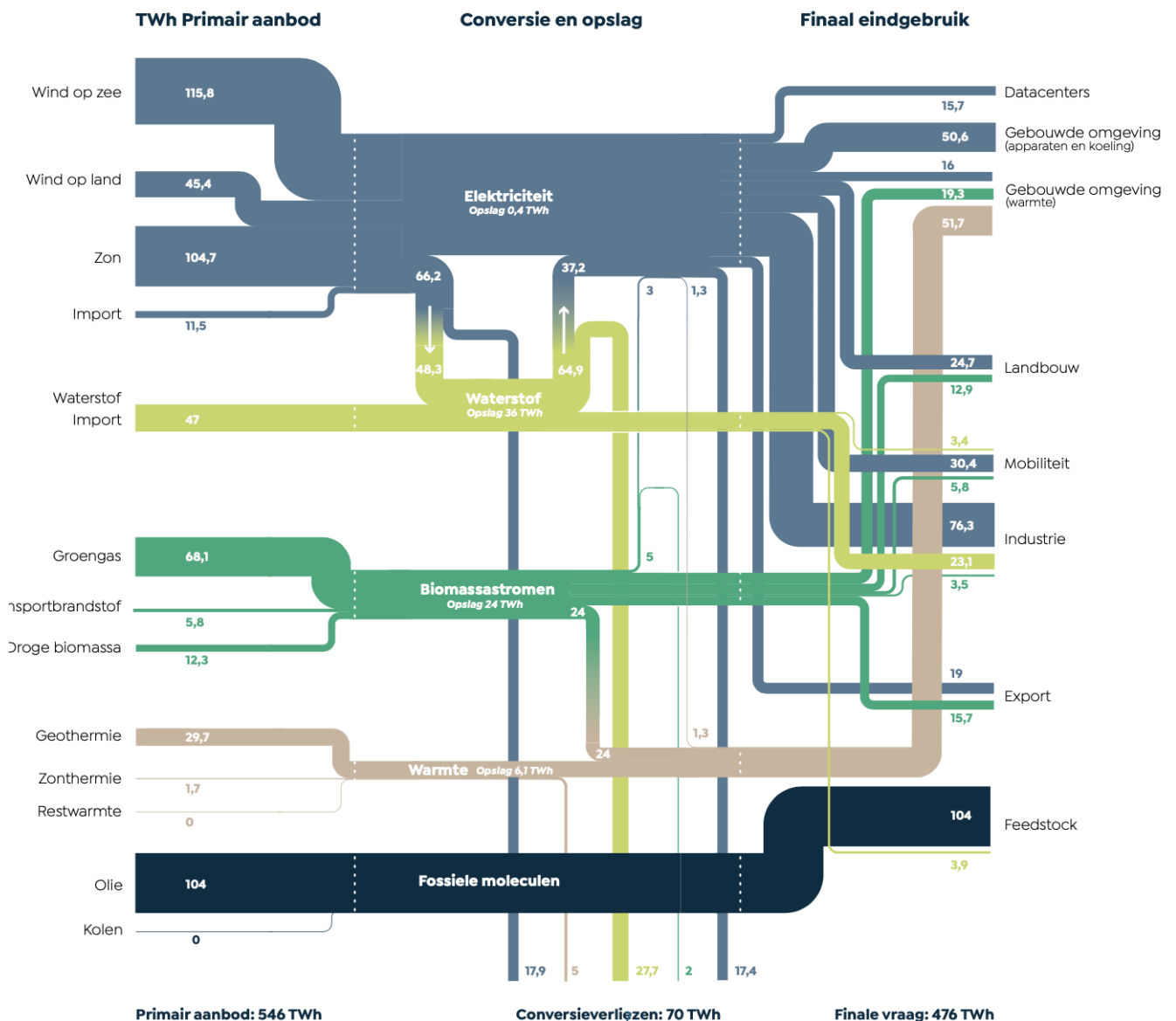
Scenario Regionaal	Scenario Nationaal	Scenario Europees	Scenario Internationaal
			
<ul style="list-style-type: none"> • Regionale ontwikkeling • 100% CO₂-reductie • (Vrijwel) zelfvoorzienend • Zeer geringe im-/exporten • Krimp van energie-intensieve industrie • Regionale focus energiesysteem, zonneweides, wind op land • Veel warmtenetten • Burgers zeer gedreven • Circulariteit speerpunt voor goederen- en voedselproductie 	<ul style="list-style-type: none"> • Nederland CO₂-reductie koploper in EU • 100% CO₂-reductie • (Vrijwel) zelfvoorzienend • Zeer geringe im-/exporten • Energie-intensieve industrie blijft gelijk aan de huidige omvang • Grote nationale projecten, wind op zee (en zonneweides en wind op land) • Circulariteit belangrijk voor goederen- en voedselproductie 	<ul style="list-style-type: none"> • Europa haalt CO₂-doelen en is koploper in de wereld • Klimaatneutraal • Algemene CO₂-heffing, importheffingen & compensatie aan de grenzen van Europa • Energie-intensieve industrie groeit • Wereldwijde waterstof- en biomassamarkt, groen gas import • Fossiel met CCS krijgt veel ruimte 	<ul style="list-style-type: none"> • Gehele wereld streeft naar CO₂-doelen, fossiel wordt sterk beperkt • 100% CO₂-reductie • Vrije handel wordt gestimuleerd • Handelsinfrastructuur worden sterk bevorderd • Energie-intensieve industrie groeit • Wereldwijde waterstof- en biomassamarkt • CCS krijgt ruimte



Stroomschema Energie Nederland

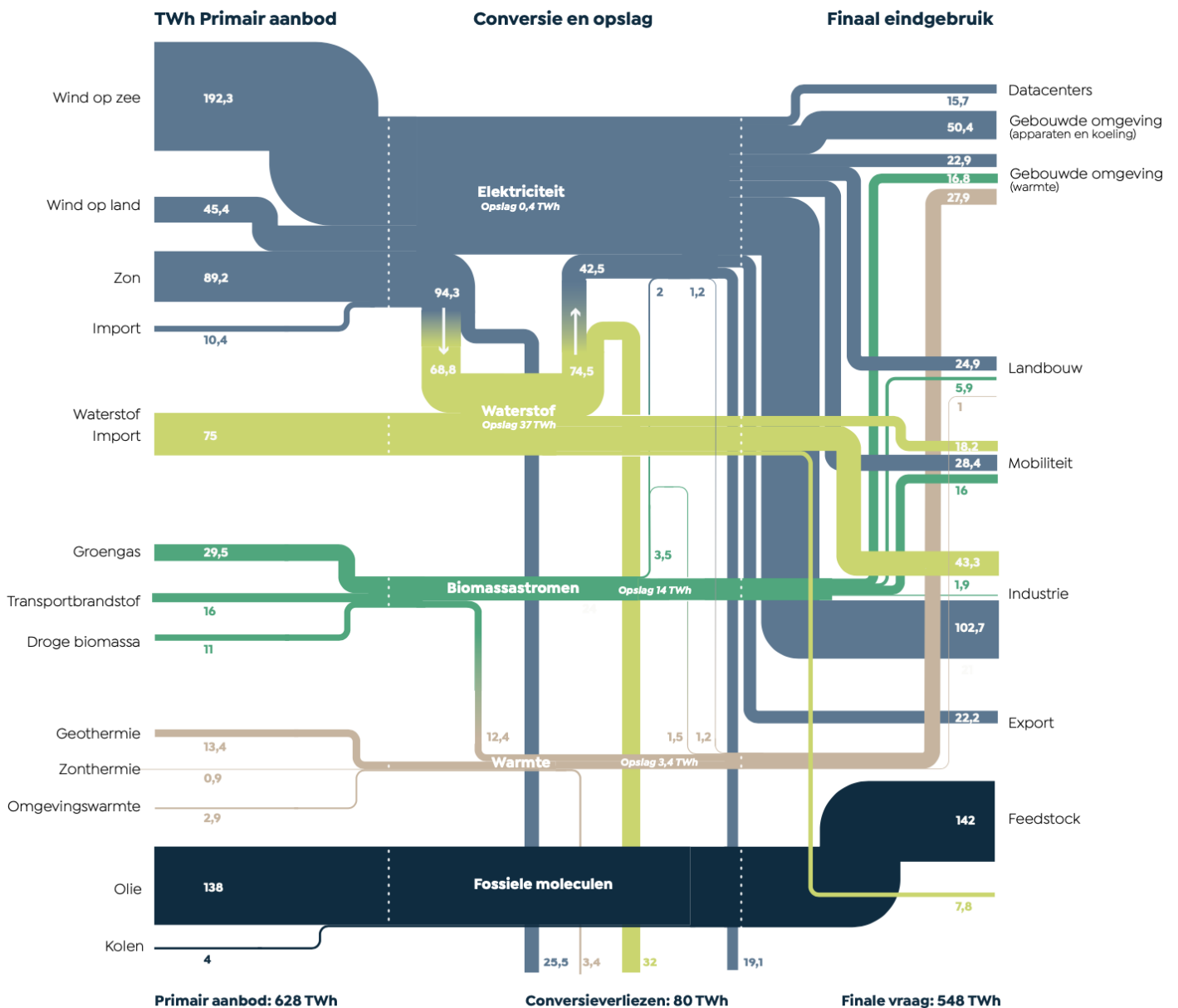
Regionale sturing

Nederland draagt grotendeels zorg voor de eigen (primaire) energieproductie. Bij de beantwoording van de vraag welke energiedragers daarvoor in aanmerking komen spelen de energieregio's een grote rol. Het accent ligt op de productie van zonne-energie op daken en zo veel mogelijk huizen worden aangesloten op warmtenetten. Er wordt van uitgegaan dat de economie circulair is en enigszins zal krimpen en dat de landbouw geheel regeneratief is. De behoefte aan kunstmest verdwijnt hierdoor grotendeels. De industrie krimpt en schakelt over op elektriciteit en groene waterstof. Groene waterstof wordt ook gebruikt als back-up voor de productie van elektriciteit. Groen gas uit lokale biomassa wordt gebruikt als piekvoorziening voor de warmtenetten.



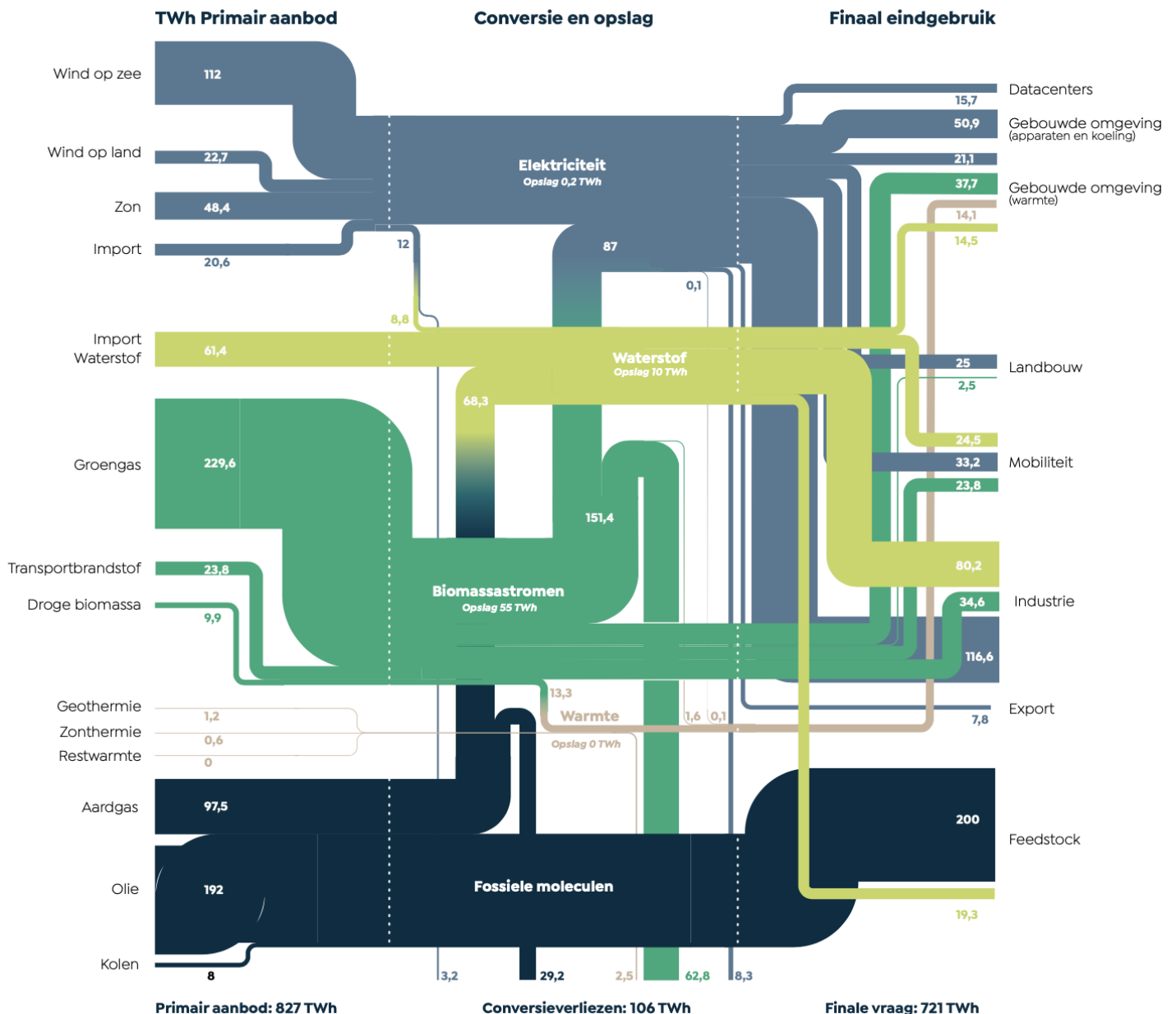
Nationale sturing

De scenario's nationale sturing gaat er ook van uit dat Nederland grotendeels elfvoorzienend is op het gebied van energievoorziening. Ook hier is de vraag naar elektriciteit hoog, waarbij wind-op-zee de hoofdrol speelt. Een deel van de op zee opgewekte elektriciteit is bestemd voor de productie van waterstof. Ook warmtenetten spelen een rol, maar er wordt toch vooral ingezet op overschakeling naar 'all-electric' en het gebruik van warmtepompen. Daarom moeten zo veel mogelijk huizen en gebouwen een energielabel A krijgen. De omvang van de industrie blijft gelijk aan de huidige en kan ook over groen gas beschikken.



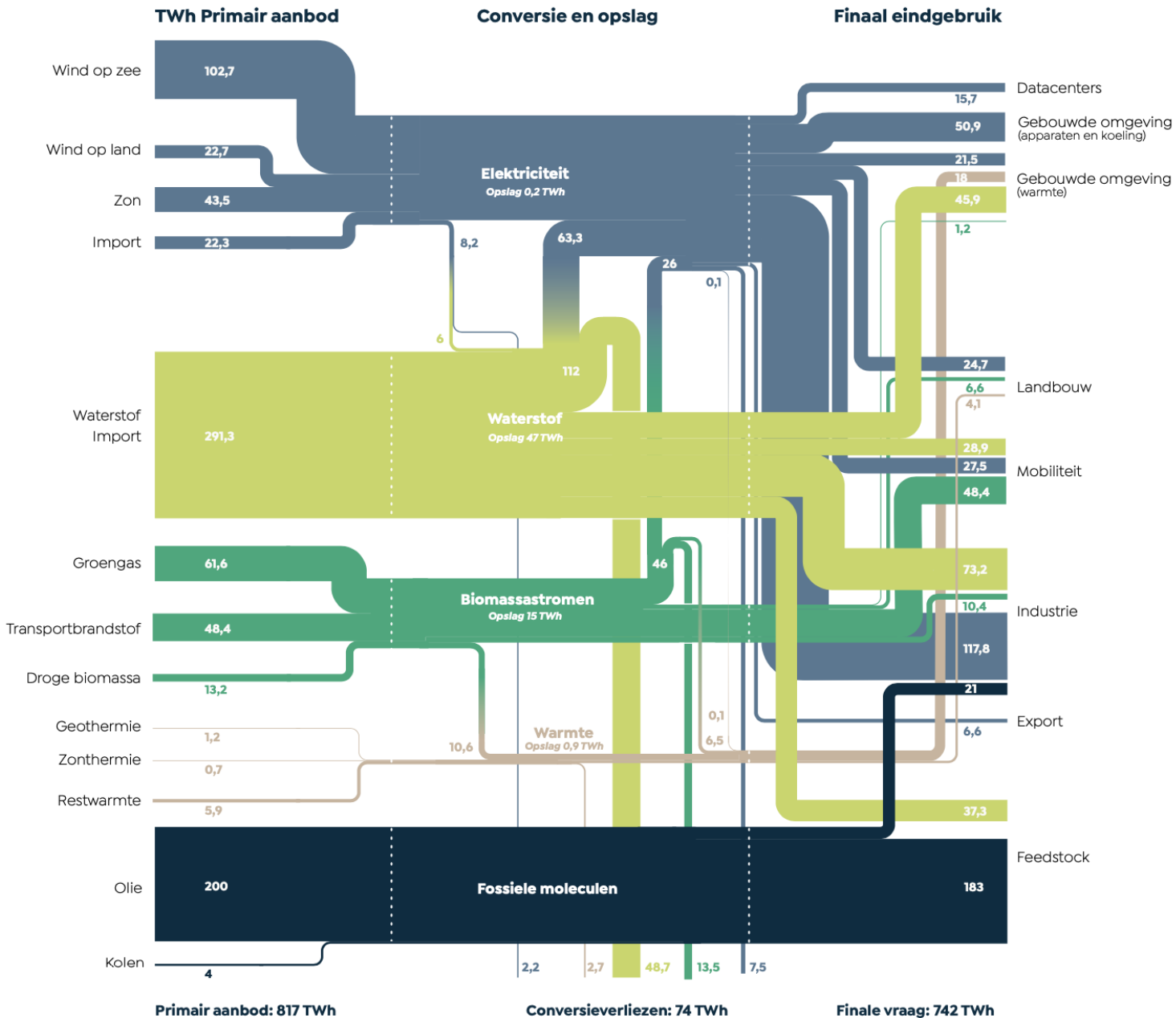
Europese CO₂-sturing

In het scenario Europese CO₂-sturing werkt Nederland mee aan zelfvoorziening op Europees niveau. Verwacht wordt dat dit ertoe zal leiden dat groen gas een veel grotere rol gaat spelen in alle sectoren. De industrie groeit, eveneens dankzij de elektrificatie en het gebruik van waterstof., ook als grondstof. Een deel van de benodigde waterstof zal worden geproduceerd uit fossiele brandstoffen, waarbij vrijkomend CO₂ wordt opgeslagen. Voor verwarmingsdoelen wordt ook gebruik gemaakt van groen gas en waterstofgas, waarvoor een groot deel van het bestaande aardgasnet geschikt wordt gemaakt.



Internationale sturing

Het internationaal scenario onderscheidt zich vooral door de import van goedkope waterstof uit landen met veel zonneshij. Deze is eveneens bestemd voor de (piek)productie van elektriciteit, als brandstof en voor verwarming. Van groen gas wordt veel minder gebruik gemaakt. Er is minder windvermogen nodig, zeker omdat elektrolyse overbodig is. In dit systeem is de afhankelijkheid van import het grootst.



De rol van kernenergie

Kernenergie is niet betrokken bij de klimaatneutrale energiescenario's omdat de inzet ervan de afgelopen jaren niet aan de orde leek. De rijksoverheid heeft aan Berenschot en Kalavasta gevraagd een studie te maken van de mogelijke inpasbaarheid van kernenergie. Dit is gebeurd en er zijn vier varianten onderzocht. Daarbij is uitgegaan van het bestaan van een energiemarkt, waarbij de prijs een doorslaande rol speelt, naast uiteraard het verbod op het gebruik van fossiele brandstoffen voor de productie van energie.

De vier varianten zijn:

- Piekcapaciteit als de vraag naar energie groter is dan de overige energiebronnen kunnen leveren. Voor dit doel is daarom geen groen gas meer nodig.
- Zowel piekcapaciteit als de productie van waterstof. Er is dan eveneens minder groen gas nodig, maar minder wind-op-zee om waterstof te produceren
- Mede voorzien in de reguliere vraag, dus niet de piekvraag. Hierdoor is er minder duurzaam vermogen en/of piekvoorzieningen nodig.
- Uitsluitend voor de productie van waterstof, eventueel tot minder windmolens op zee of invoer leidt.

Het rapport concludeert dat geen van de varianten grote invloed heeft op het elektriciteitsnet als zodanig en dat in elke variant de kostprijs per kilowattuur groter zal worden.

Een ander bureau, ENCO, heeft ook onderzoek gedaan en concludeert dat kernenergie financieel wel aantrekkelijk kan zijn. Berenschot en Kalavasta heeft kritisch op dit rapport gereageerd. De rijksoverheid voert thans een marktconsultatie uit om de kosten van kernenergie nader te onderzoeken. Het kostenaspect komt ook in dit dossier aan de orde.

3. De kosten van het toekomstige energiesysteem

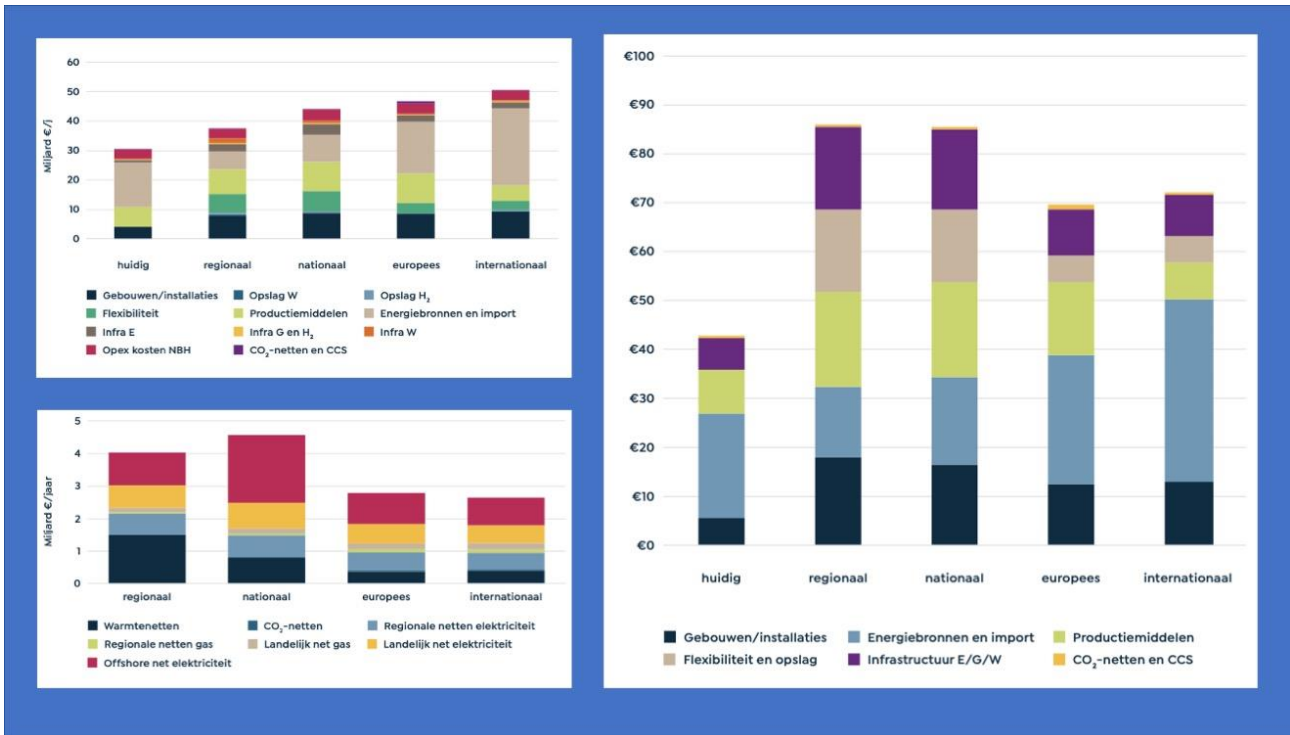
De drie onderstaande staafdiagrammen vatten de gemiddelde jaarlijkse kosten van de klimaattransitie samen.

De afbeelding linksboven geeft de totale jaarlijkse kosten weer, exclusief belastingen en subsidies. Dat de kosten van Europese CO₂-sturing en internationale sturing groter zijn komt omdat de energievraag in die scenario's veel groter is dan bijvoorbeeld in het regionale scenario. Vandaar dat de kosten in de rechterafbeelding zijn teruggerekend naar de prijs per geleverde eenheden energie. Regionale en nationale sturing komen nu als duurste uit de bus. Ook blijkt duidelijk dat in alle gevallen de kosten van de energie aanzienlijk hoger uitvallen dan in 2020 het geval was.

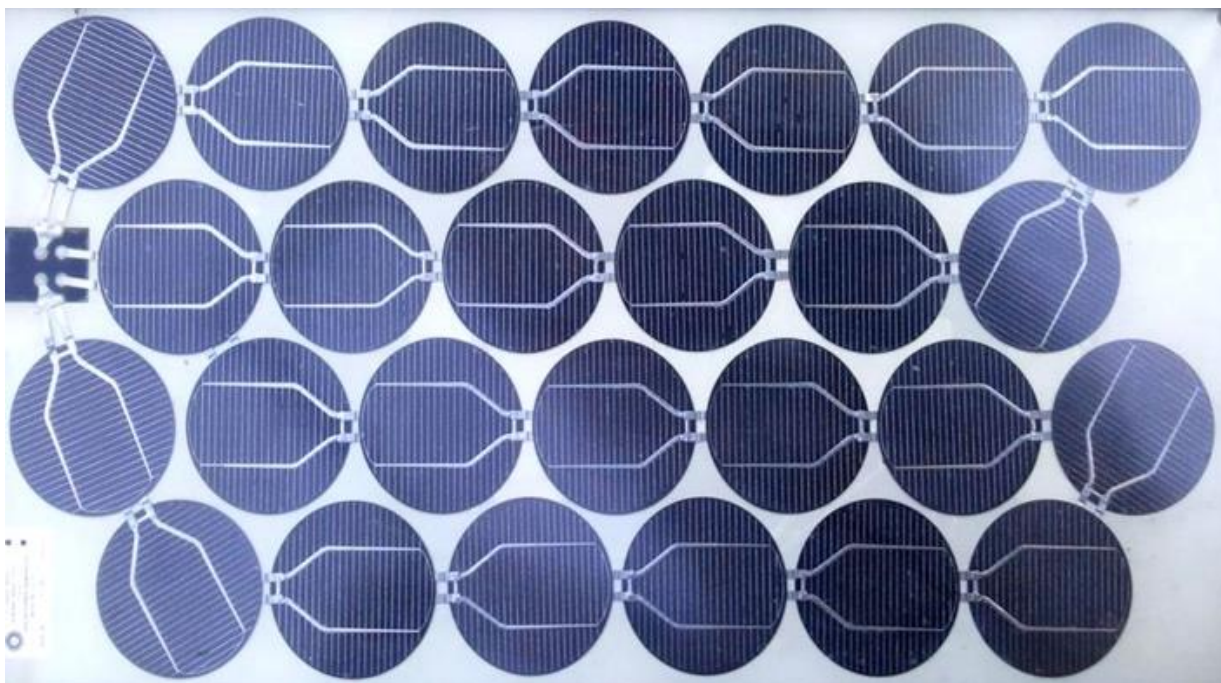
Een korte toelichting bij de kosten:

- Gebouwen en installaties: Alle kosten voor warmteproductie, isolatie van de huizen en gebouwen, meerkosten van elektrisch vervoer
- Opslag W: Alle kosten voor warmteopslag
- Opslag H₂; Alle kosten voor waterstofopslag
- Flexibiliteit: Alle kosten voor batterijen, kosten voor de omzetting van elektriciteit naar waterstof (pieken en grote centrales), systeembatterijen (power-to-power) en gascentrales
- Productiemiddelen: Alle kosten voor de binnenlandse productie van elektriciteit en waterstof (exclusief de brandstofkosten)
- Energiebronnen en import: alle kosten van (primaire) energiedragers.
- Infrastructuur W: Alle kosten voor warmtenetten
- Infrastructuur G en H₂: Alle kosten voor het gas- en waterstofnet

- Infrastructuur E: Alle kosten voor het elektriciteitsnetwerk
- Overige kosten netbeheerders: Alle kosten van organisatie en van de organisatie van de netbeheerders
- CO₂-netten en CCS: Alle kosten voor investeringen in afvanginstallaties bij elektriciteits- en waterstofcentrales, de kosten voor de CO₂-infrastructuur en de kosten voor de opslag van CO₂.



De afbeelding linksonder laat de kosten zien van de jaarlijkse investeringen (2030 – 2050) in de nieuw te bouwen of uit te breiden installaties en gebouwen. Voor de investeringskosten geldt een discontovoet van 3% en een afschrijvingstermijn van 40 jaar. Dat de regionale en nationale scenario's veel duurder zijn komt door de investeringen in resp. warmtenetten en de elektriciteitsinfrastructuur (zowel binnenlands als offshore netwerk). Het rapport 'Het energiesysteem van de toekomst' geeft voor elk van deze investeringen een uitgebreide toelichting (hoofdstuk 14).



Energietransitie mogelijk dankzij de zonnecel

Inhoud

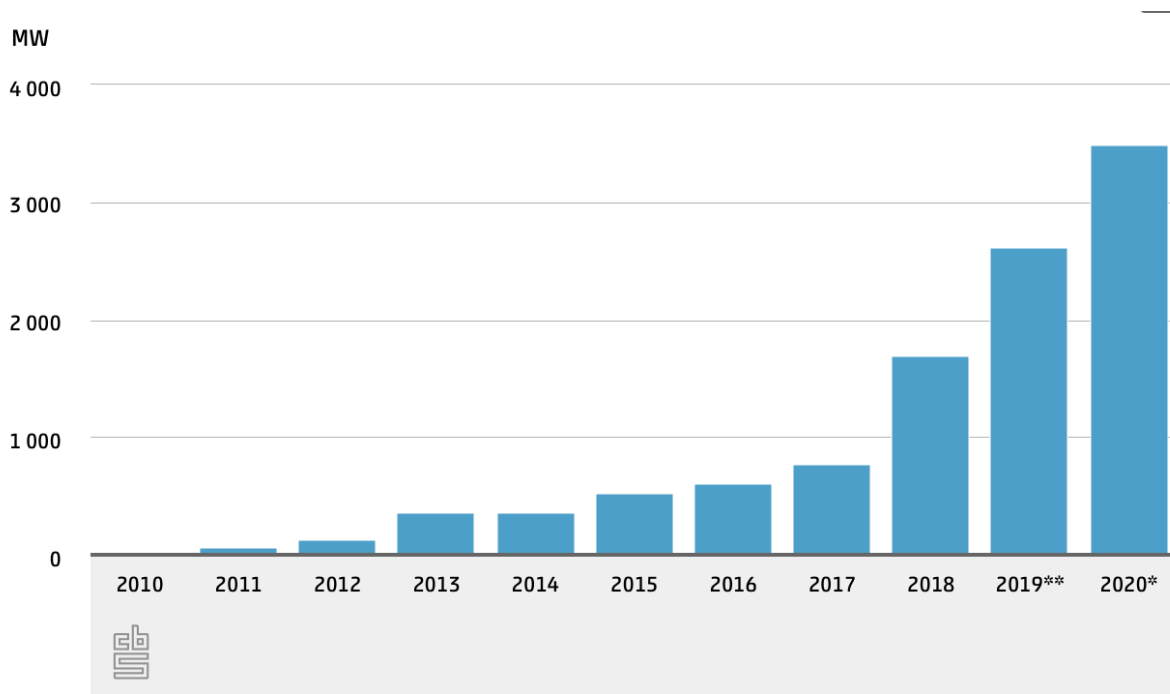
1. De groei van het gebruik van zonne-energie
2. De basis: de zonnecel van silicium
3. De gestokte doorbraak van het CIS-paneel
4. Hoe meer rendement te halen valt uit de silicium cel
5. Verdere innovatie

De zon stuurt dagelijks 1000 maal meer energie naar de aarde dan nodig is. Dankzij de uitvinding van de zonnecel maken we daar dankbaar gebruik van. Dat had eigenlijk veel eerder gemoeten. Edmond Becquerel heeft de zonnecel in 1839 bij toeval uitgevonden. Pas in 1954 maakte het Bell laboratorium het eerste zonnepaneel (zie boven). Door de jaren heen is er een reeks verbeteringen doorgevoerd die levensduur en rendement van het zonnepaneel hebben vergroot. Waarschijnlijk zou het gebruik van de zonnecel beperkt zijn gebleven tot specialistische toepassingen, zoals de ruimtevaart en tot gebieden waar elektriciteit opgewekt uit conventionele bronnen niet beschikbaar is. Maar het ging anders: Om de opwarming van de aarde af te remmen moet het gebruik van fossiele energiebronnen zo snel mogelijk worden afgebouwd. Grootschalige toepassing van zonnecellen maakt deze energietransitie mede mogelijk

Dit artikel laat zien hoe snel het geplaatst vermogen (aantal zonnepanelen) om zonne-energie op te wekken de laatste tien jaar is gestegen en hoe hun rendement langzaam maar zeker toeneemt.

1 De groei van het gebruik van zonne-energie

Het [eerste zonnepaneel](#) in Nederland dateert uit 1974, maar het aantal bleef decennia gering. Vanaf 2018 is de toename van het opgesteld vermogen snel gegaan.



Figuur 1: jaarlijkse toename opgesteld vermogen voor zonne-energie - bron: CBS

Eind 2020 was er in Nederland 10.717 megawatt aan vermogen opgesteld. Daar is in 2021 (voorlopige berekening) 3.900 megawatt bijgekomen. In 2020 wekten de zonnepanelen 8,114 miljard kilowattuur aan energie op.

Naar verwachting zal het opgesteld vermogen aan zonnepanelen in Nederland in 2030 26.000 megawatt bedragen. In dat jaar zal 75% van de totale [elektriciteitsbehoefte](#) afkomstig zijn uit hernieuwbare bronnen (vooral zonne- en windenergie en biomassa). Dat is nu nog 20%. Hierbij speelt biomassa de hoofdrol.

2 De basis: de zonnecel van silicium

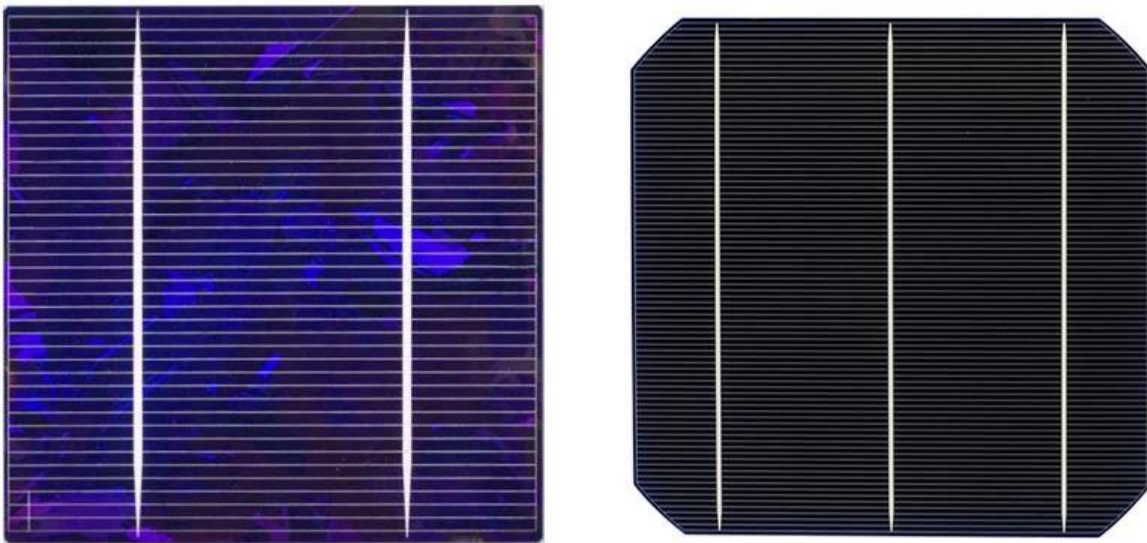
De werking van het nog steeds meest gebruikte paneel is eenvoudig. Aan de bovenkant een glazen plaat van 3,2 - 4 mm. Aan de onderkant een kunststoffen onderlaag van 0,5 mm. Daar tussenin zitten de zonnecellen. Een zonnecel is een 'plakje' silicium van 2 mm dik ('wafel'). Zonnecellen heten eigenlijk fofovoltaïsche cellen. Dat woord is een combinatie van het Griekse woord voor licht ($\phi\acute{\omega}\varsigma$) en de naam van de Italiaanse natuurkundige Volta.

Silicium is een geschikt materiaal omdat zijn atomen makkelijk elektronen loslaten als er zonlicht op valt. Maar die elektronen moeten dan ook nog eens gaan stromen. Om dat te bereiken wordt van het plakje silicium (de wafel) een halfgeleider gemaakt. Dat gebeurt door aan de bovenkant een laagje fosfor aan te brengen en aan de onderkant een laagje borium. De zonnecellen

worden aan elkaar verbonden en de opgewekte 'stroom' wordt met geleidend materiaal afgevoerd.

Polykristallijne zonnecellen

Om 'wafels' die te maken wordt een aantal brokken silicium gesmolten op 1500 graden Celsius. Het vloeibare silicium wordt in een vorm van 16 x 16 cm gegoten. Als de staaf is uitgehard kunnen er 'plakjes' van gesneden worden. Het resultaat is een gevlekte donkerblauwe zonnecel. Die vlekken zijn het gevolg van het feit dat de staaf waaruit de 'wafels' zijn gesneden, bestaat uit silicium dat afkomstig is van verschillende brokken. Hier komt de naam polykristallijne zonnecellen vandaan. Polykristallijne zonnecellen hebben een onregelmatige kristalstructuur waardoor ze minder zonnestrallen 'vangen'.



Figuur 2/2 Polykristallijne links) en monokristallijne zonnecel (rechts). Foto: Zonnepanelenenergie.be

Monokristallijne zonnecellen

Een belangrijke verbetering was de productie van monokristallijne zonnecellen. Een klein stukje silicium wordt daartoe 48 uur draaiend ondergedompeld in gesmolten silicium. Hierdoor ontstaat een groot cilindervorming bijna zwart kristal. Ook hieruit worden 'plakjes' gesneden. De ronde vorm blijkt nog duidelijk uit het bovenstaande (titel)plaatje van een van de oudste monokristallijne zonnepanelen. Tegenwoordig worden de zijden recht gemaakt en is de oorspronkelijke ronde vorm alleen nog aan de hoeken herkenbaar.

De productie van monokristallijne zonnepanelen is een stuk ingewikkelder en ook daarom zijn ze duurder.

De kristalstructuur is geheel egaal en daarom is het rendement groter dan dat van polykristallijne panelen. Laatstgenoemde slagen erin ongeveer 14 - 16% van het zonlicht om te zetten in energie. Bij monokristallijne panelen ligt dat tussen de 16 - 20%. In beide gevallen zijn er uitschieters naar boven, zodat je niet kunt zeggen dat polykristallijne zonnepanelen altijd een lager rendement hebben.

Jaarlijkse vermindert van het rendement van kristallijne zonnepanelen met 1%. De verkoper garandeert een bepaald minimumrendement na 25 jaar, maar de garantie op het product zelf is vaak maar 10 jaar. Als een zonnepaneel na die tijd niet meer functioneert, vervalt ook de vermogensgarantie.

Ergens tussen 5 - 15 jaar gaat het rendement van zonnepanelen aanzienlijk te dalen, de zogenaamde drop down. Dit is vooral afhankelijk van hun kwaliteit.

Het nadeel van beide typen panelen is dat onder- en bovenkant van verschillende soorten materialen zijn gemaakt. Hun uitzetting en krimp verloopt hierdoor niet volledig gelijk. Daardoor kan er na verloop van tijd vocht tussen beide lagen komen. De opbrengst neemt hierdoor snel af. Een ander nadeel is dat de zonnecellen niet precies in het midden zitten. De kunststoffen achterkant is veel dunner. Er kunnen daardoor kleine barstjes ontstaan (microcracks), die eveneens nadelig zijn voor het rendement. De glas-glaspanelen, die nog aan de orde komen ondervangen deze tekortkoming.

3 De gestokte doorbraak van het CIS-paneel



Figuur 3: Dunne film-zonnepaneel - foto MiaSolé

Er wordt al vele jaren gezocht naar een alternatief voor kristallijne zonnecellen. Het dunne film-paneel leek hoge ogen te gooien. Hun rendement is gestaag gestegen en ligt tussen de 12- 14%, wat wordt gecompenseerd door een lagere prijs. Onder laboratoriumomstandigheden is al wel een rendement van 21% bereikt. Dunne film-panelen zijn minder temperatuurgevoelig, wat op warme dagen hun rendement ten goede komt. Het verhaal dat ze het ook beter doen bij bewolking is nooit bewezen.

Dunne film-panelen zijn gemaakt van poedervormige stoffen die worden aangebracht op een flexibele ondergrond. Daarbij werd eerst amorf-silicium gebruikt. Later vooral een combinatie van cadmium telluride (CdTe) of een van koper, indium en selenide (het CIS-paneel). Toevoeging van het giftige gallium aan CIS-panelen zorgt dat ze hun diepzwarte kleur behouden. Sommige mensen die de zwarte monokristallijne zonnepanelen al mooi vonden vallen helemaal op zwarte CIGS-panelen. De productie van dunne film panelen kost veel minder energie dan die van kristallijne zonnepanelen. Ook zijn er minder grondstoffen nodig en ze hebben geen negatieve milieueffect.

Het belangrijkste nadeel is dat degenen die zonnepanelen voor privégebruik aanschaffen, bij voorkeur een zo hoog mogelijk rendement uit hun (schaarse) dakruimte willen halen. Degenen die veel dakruimte hebben, zijn daarentegen vooral geïnteresseerd zijn in een lange levensduur. Over de levensduur valt nog weinig te zeggen.



Figuur 4: Monokristallijn zonnepaneel (links) en CI(G)S paneel (rechts - foto Zonnepanelen.be)

Het marktaandeel, dat rond 2010 op 20% lag, is wereldwijd gehalveerd. Diverse fabrikanten zijn inmiddels failliet. Het feit dat de CIS-panels niet zijn doorgebroken, heeft alles te maken met de moordende concurrentie tussen de fabrikanten van silicium panelen: Tussen 2010 en 2013 halveerde hun prijs.

Naar mijn gevoel is het matige succes van dunne film-panels tot nu toe vooral een marketingprobleem. CI(G)S panels zijn te eenzijdig ingezet als goedkoop alternatief voor mono- en polykristallijne panels. De unieke mogelijkheden van het buigzame materiaal zijn onvoldoende benut. Zo zijn CdTe-panels veel transparanter dan een siliciumpaneel. Daardoor zijn ze uitstekend bruikbaar voor gebogen overkappingen. Het is ook veel makkelijker om - eventueel op bestelling - afwijkende vormen te maken en daarmee een esthetisch verantwoorde dakbedekking te realiseren. Zoals nog zal blijken, gaat in de toekomst hun belang weer toenemen.

4 Hoe meer rendement te halen valt uit de silicium cel

Er is de afgelopen jaren al het een en ander veranderd, waardoor het rendement van pakweg 15% in 2015 gestegen is naar rond 20% en naar een vermogen van 350 wattpiek. Rendement betreft het percentage van de zonne-energie dat een paneel omzet in elektriciteit. Dit jaar verraste het Chinese bedrijf [JA Solar](#) de markt met panels met een rendement van 21% en 525 wattpiek. Deze panels zijn overigens een stuk groter zijn dan de gangbare maat van 1.65 – 1 meter.

Er hebben minstens vier belangrijke vernieuwingen plaatsgevonden: Glas-glaspanels, waar de zonnecellen tussen twee dunne glazen platen zitten, wat de duurzaamheid aanzienlijk vergroot, bifaciale panels, die aan beide zijden licht in elektriciteit kunnen omzetten, PERC-panels die een hoger rendement halen omdat ze door een slimme constructie beter gebruik maken van het rode deel van het spectrum van zonne-energie en – niet onbelangrijk – lichtgewicht panels die volledig recyclebaar zijn.

Glas-glaspanelen

Het was een lang gekoesterde wens van de producenten van kwaliteits-zonnepanelen om de levensduur te verlengen door een meer solide constructie. Dat dit met een dubbele glasplaat kon, was uiteraard bekend. Zonnepanelen zouden hierdoor echter veel te zwaar worden, zo'n 35 kilo tegen 20 nu. Pas de laatste jaren is er betaalbaar veiligheidsglas op de markt gekomen, dat maar 2 mm dik is. Dit opende de weg voor de productie van glas-glas- of dubbelglas-panelen. Het grote voordeel schuilt in de levensduur. Glas-glaspanelen zouden zeker 35 jaar moeten kunnen meegaan met behoud van een goed rendement. Voor enkel-glaspanelen is 25 jaar wel de limiet. Maar hun rendement ligt ook wat hoger omdat het geharde glas dunner is en daarom warmte sneller afvoert.

Een ander voordeel is dat ze transparanter ogen, waardoor ze zich goed lenen voor glazen overkappingen, zoals die van de perrons van Utrecht CS en Rotterdam CS



Figuur 5: Overkapping met glas-glaspanelen CS Utrecht - foto BRS Building Systems

Het productieproces van glas-glaspanelen is gecompliceerd. Voorkomen moet worden dat er luchtbelletjes tussen beide glasplaten ontstaan. De prijs ligt daarom hoger dan enkel-glaspanelen. Dit prijsverschil is overigens maar betrekkelijk gegeven hun langere afschrijvingstermijn.



Figuur 7: Drijvende bifaciale zonnepanelen - foto EmpowerMi

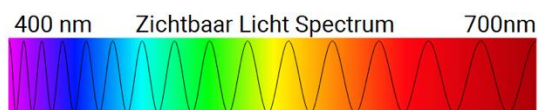
Bifaciale panelen

Dit type zonnepanelen is een logisch vervolg op de glas-glaspanelen. Bifaciale panelen kunnen aan beide zijden licht omzetten in energie. Zij lenen zich daarom uitstekend voor integratie in geluidswallen. Ook voor de opwekking van energie op het water zijn bifocale zonnepanelen zeer geschikt. Water reflecteert immers een aanzienlijk deel van het zonlicht.

Wie meer van de werking van bifaciale panelen wil weten, kan dit [filmpje](#) bekijken:

PERC-panelen

PERC staat voor *Passivated Emitter and Rear Cell*. Dit vereist wat toelichting. Het voor ons zichtbare licht is opgebouwd uit het bekende kleurenspectrum van de regenboog, variërend van donkerblauw (golflengte: 400 nm) naar rood (golflengte: 700 nm.) Dit is ongeveer 50% van het totale licht van de zon. De rest zien we niet, maar voelen we wel!



Figuur 8: Korte en lange golflengte licht - bron Wikipedia

Silicium zonnecellen hebben de meeste moeite om licht met een lange golflengte te 'vangen'. Rood licht schiet dus eerder door de cel en de glazen achterkant van het paneel. In het geval van een kunst-

stoffen achterkant van de panelen wordt het rode licht omgezet in warmte. PERC-technologie houdt in dat aan de achterkant van de zonnecel niet-geleidende strippen worden aangebracht. Deze kaatsen elektronen terug de zonnecel in. Een deel daarvan wordt dan alsnog in energie omgezet.

Het voordeel is evident: Het rendement van het zonnepaneel neemt toe; overigens ook omdat bij een bewolkte hemel naar verhouding minder 'blauw licht' (korte golf) de aarde bereikt. Deze panelen worden bovendien minder snel warm, wat het rendement eveneens ten goede komt.

PERC-technologie is niet nieuw. Ze is einde jaren '80 voor het eerst toegepast door de Universiteit van New South Wales in Australië. Het ermee uitgeruste zonnepaneel had - in laboratoriumomstandigheden - een rendement van 25%.

Een product tegen een concurrerende prijs op de markt brengen duurt vaak veel langer dan een laboratoriummodel maken. Vandaar dat nu pas PERC-technologie op grote schaal wordt geïntroduceerd. Het [rendement](#) van zonnepanelen kan door PERC-technologie, al dan niet in combinatie met bifaciale technieken, een à twee procent stijgen.

Lichtgewicht panelen

Plaatsen van zonnepanelen op daken van fabrieken, distributiecentra en andere gebouwen geldt als de meest aanvaardbare en relatief goedkope manier voor het opwekken van zonne-energie. Naar schatting 30 - 40% van deze daken heeft daarvoor een te lichte constructie en dakversterking is kostbaar. Met [lichtgewicht zonnepanelen](#) is dit probleem op te lossen en kan er 100 km² aan zonnepanelen extra op bedrijfsgebouwen bijkomen.

Vanaf 2022 gaat Solarge zonnepanelen op de markt brengen die 50% minder wegen, omdat glas en aluminium frames wordt vervangen door kunststof. Het gebruik van kunststof in zonnepanelen werd lange tijd uitgesloten omdat dit materiaal niet hard genoeg en onvoldoende doorzichtig is. Het Nederlandse deel van Sabic heeft een vezelversterkend thermoplastisch polymeer ontwikkeld die het mogelijk maakt om zonnepanelen zonder glas en zonder aluminium te produceren met een vergelijkbare stevigheid en duurzaamheid. Daarmee onderscheidt dit nieuwe paneel zich van al [bestaande lichtgewicht panelen](#). Bovendien bevatten sommige daarvan PFAS. De panelen van Solarge zijn op hun performance getest door TNO en de TU Eindhoven.

Van minstens zo groot belang als het gewicht, is het feit dat het materiaal volledig en [hoogwaardig te recyclen](#) is en opnieuw kan worden gebruikt om zonnepanelen te maken. De zonnecellen, die nu nog uit China komen, zullen worden vervangen door 'low carbon' cellen uit Noorwegen, gemaakt met behulp van hydro energie. Dit gebeurt zodra de nieuwe EU-regels de invoer van (te) goedkope zonnecellen uit China aan banden heeft gelegd.

Het gecombineerde effect van de toepassing van polymeren en low carbon zonnecellen is, dat het niet meer vier jaar zal duren voordat de milieu-impact van een zonnepaneel is terugverdiend, maar 4 maanden.

Bekijk [hier](#) een korte film over de productie van deze nieuwe generatie zonnepanelen.

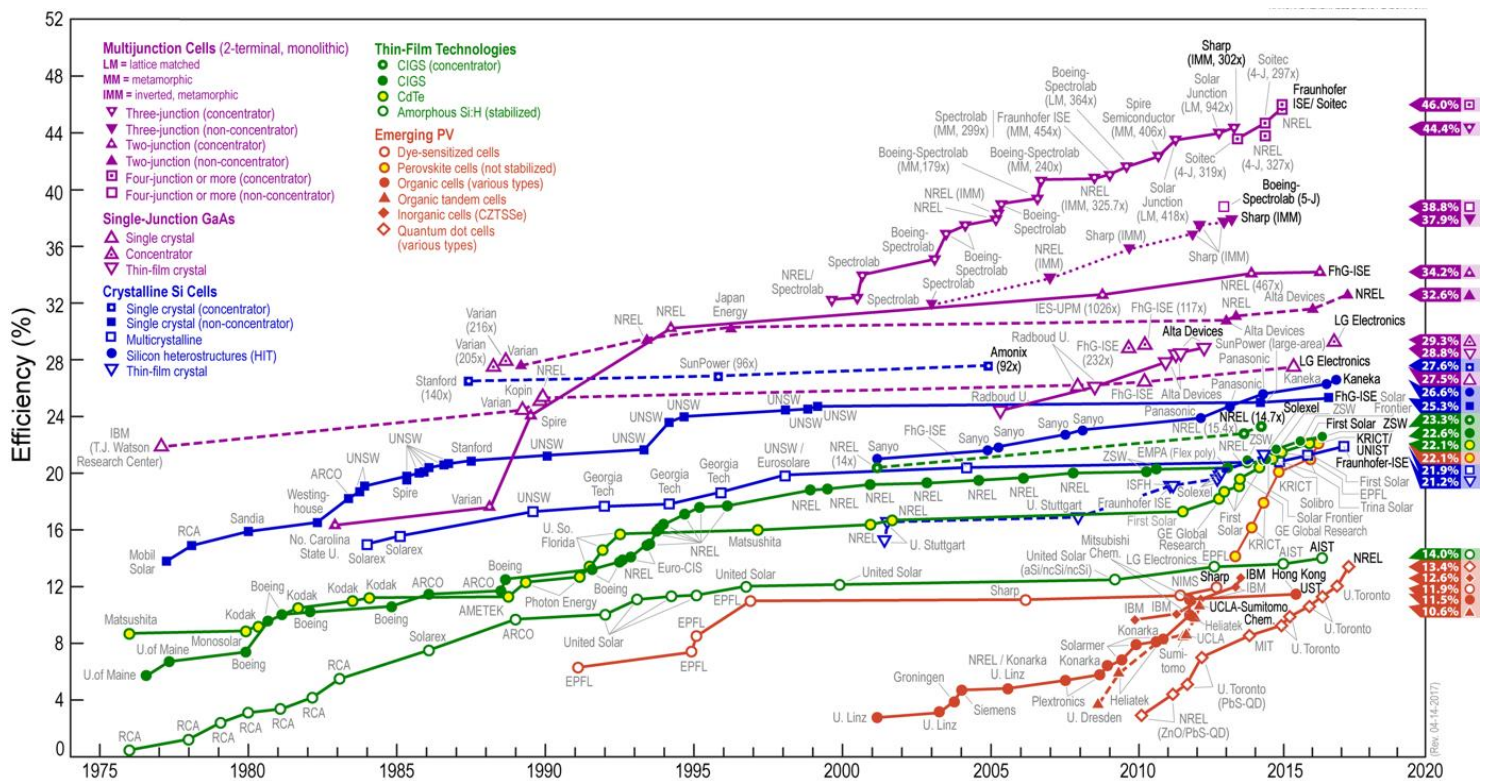
5 Verdere innovatie

- Verlagen van de kostprijs van de geproduceerde energie
- Verlengen van de levensduur
- Verhogen van het energetisch rendement.
- Verlaging van de prijs van grondstoffen, door het gebruik van stoffen die ruim beschikbaar en veilig zijn
- Vermindering van de complexiteit van het productieproces
- De impact op mens, natuur en milieu.

Als in 2050 30% van alle benodigde energie opgewekt moet worden door middel van het huidige type zonnepanelen, moet de productie van silicium met een factor 50 stijgen. Maar het is ook de vraag of er genoeg plaats is voor al die panelen. De uitdaging is daarom, de energieopbrengst per paneel aanzienlijk te verhogen.

De verwachting is dat in de toekomst dunne-film panelen de hoofdrol zullen spelen.

Het diagram hieronder toont de verschillende onderzoekslijnen van zonnepanelen vanaf 1975. De onderzoekslijnen zijn gebundeld in vier groepen.



Figuur 6 Overzicht van onderzoekslijnen naar het rendement van zonnecellen - afbeelding National Renewable Energy Laboratory

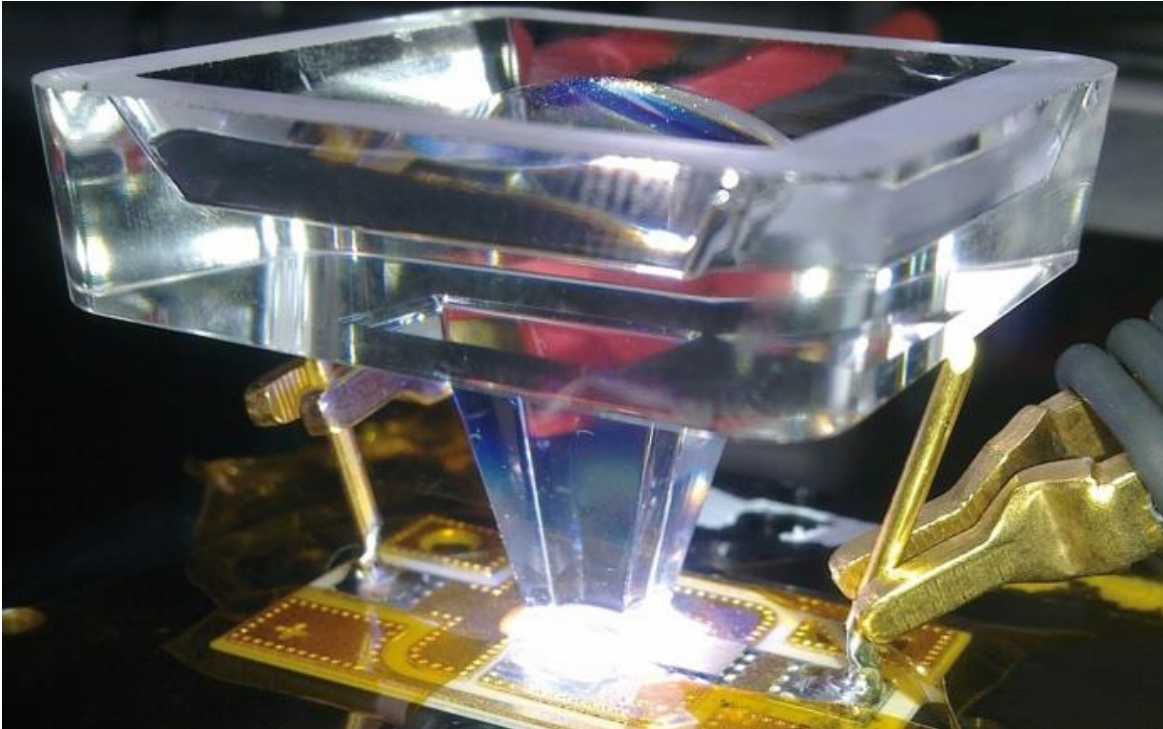
Twee van die groepen zijn tot dusver uitvoerig besproken. Dat zijn de kristallijne zonnecellen (violet) en de dunne film zonnecellen (groen). Te zien is hoe het rendement van deze groepen gestaag is gestegen, dat deze stijging de laatste twee decennia is afgevlakt en dat het verschil tussen beide groepen is afgenomen.

Met het oog op de toekomst is het vooral interessant om stil te staan bij de twee andere groepen. De eerste groep bestaat vooral uit *multi-junction* (meerlagig) of *tandem cells* en uit *single-junction GaAs* cells (paars). Het rendement van deze cellen - doorgaans in laboratoria - ligt tussen de 30 en 47%. Een tweede groep, *emerging PV cells* (rood) is evenzeer interessant. Ik spreek over doorzichtige zonnepanelen. Onderzoek hier is veel recenter van de grond gekomen. In minder dan 10 jaar is al een aanzienlijke verbetering van het rendement gerealiseerd. Tenslotte komen panelen aan de orde die zowel warmte als elektriciteit leveren.

Tandem zonnecellen

Een van de mogelijkheden om het rendement van de siliciumcellen te vergroten is toevoegen van verschillende lagen. We spreken dan van tandem of multi-junction cellen. Zoals eerder opgemerkt, het 'vangen' van fotonen (licht van de zon) lukt silicium niet op elke bandbreedte van het zichtbare deel van het spectrum even goed. Silicium zonnecellen hebben de meeste moeite om licht met een lange golflengte te 'vangen'. Rood licht schiet dus eerder door de cel en de glazen achterkant van het paneel. Ik vermeldde al dat PERC-zonnecellen aan de achterkant niet-geleidende stripjes hebben die het licht aan de rode kant van het spectrum terugkaatsen, zodat een deel ervan alsnog omgevormd kan worden in elektriciteit. Maar er zijn veel geavanceerdere methoden. Deze

voegen aan de silicium laag een of meer andere lagen toe. Elke laag is 'gespecialiseerd' in het vangen van fotonen uit een ander deel van het spectrum. Zogenaamde [III-V siliconen tandem zonnecellen](#) bereiken goede resultaten dankzij een dunne laag gallium arsenide. In het laboratorium liep het rendement op tot wel 44%. Dit materiaal is echter schaars en giftig en het productieproces is ingewikkeld. Daarom worden deze cellen vooralsnog vooral voor de ruimtevaart gebruikt



Figuur 7 Multi junction cel met geconcentreerde lichtinval - foro Azur Space Solar Power

Bovenstaande afbeelding toont een gelaagde cel die wordt blootgesteld aan 1000 maal geconcentreerd zonlicht, met als resultaat een rendement van 44%. Dit soort 'kostbare' zonnecellen zijn afgezien van de ruimtevaartindustrie geschikt voor zonneparken waar spiegels het licht 'vangen' en geconcentreerd stralen naar zonnecellen, die meestal zijn verwerkt in de top van een toren.

Leidse milieuwetenschappers hebben samen met collega's van het Fraunhofer instituut de totale impact van dit soort panelen op het milieu onderzocht. Zij concludeerden dat de impact van de giftige stoffen veel geringer is dan die van de CO₂ die tijdens het productieproces vrijkomt, onder andere door het gebruik van 'grijze' elektriciteit.

Doorzichtige zonnepanelen

Het grote probleem is dat welk materiaal ook wordt gebruikt, steeds maar een deel van het spectrum van de zonnestraling wordt benut, waardoor een verbetering van het rendement altijd beperkt zal zijn.

De laatste jaren is de belangstelling gegroeid voor zonnecellen die energie produceren en ook lichtdoorlatend zijn. In dit geval kan genoeg worden genomen met een lager rendement dan dat van gewone zonnecellen. Nagenoeg volledig transparante zonnepanelen kunnen worden gebruikt als vensters van huizen en kantoren en als bouw materiaal voor kassen. Hierdoor komen er ineens miljarden vierkante meters bij die voor energiewinning geschikt zijn.

Deze trend leidt tot een revival van de dunne film-zonnepanelen. Eerder werd al gememoreerd dat zonnecellen die in plaats van silicium organische materialen gebruiken zoals polymeren en pigment goedkoop zijn omdat ze gedrukt kunnen worden.

Veelbelovend zijn zonnecellen van [perovskiet](#). Deze stof kan massaal worden geproduceerd en het rendement is beter dan dat van silicium zonnecellen. Hun slijtvastheid is nog niet ideaal. Een uitvoering in de vorm van glasglaspanelen lijkt een oplossing. Ook bevatten de meeste prototypen het giftige lood, wat vervangen kan worden door tin.



Figuur 8: Toepassingen van dunne film-zonnepanelen van Heliatek - foto's Innogy (boven) en RWE (onder)

Een ander product dat dunne-film zonnepanelen opnieuw in de belangstelling kan plaatsten, wordt gemaakt door Heliatek, een bedrijf dat in 2021 de Green Quest Award heeft gewonnen. Het is een ultradun zonnefolie van niet-toxisch organisch materiaal. Het materiaal is overvloedig aanwezig. Het compenseren van de vrijgekomen CO₂ duurt maar acht maanden. De folie gaat twintig jaar mee kan deels worden hergebruikt. Het folie kan op elk oppervlak worden aangebracht, bijvoorbeeld gevels, tankinstallaties, glazen daken en ramen. Voor daken van particuliere woningen is het [rendement](#) - rond de 14% - nog te klein, al is het een uitkomst voor [gebogen daken](#). Volgens jurylid [Jacqueline Cramer](#) is het een gamechanger, een product dat van kop tot start klopt.

Tot nu rechtvaardigt de combinatie van transparantie én rendement nog geen opschaling naar een commercieel product. Voor toepassingen als overkappingen en andere grote glasoppervlakten waar een zekere tint acceptabel is zijn er al uitstekende alternatieven. De doorbraak van zonnepanelen verwerkt in vensterglas is op komst. Ik kom hierop in het volgende hoofdstuk terug.

Elektriciteit en warmte tegelijkertijd

Tenslotte noem ik nog een aantrekkelijk ogend alternatief, gebaseerd op bestaande technologie. Tripel Solar levert zonnepanelen die aan de voorkant bestaan uit fotonvoltaïsche cellen; de achterkant is een thermische wisselaar. Samen met een warmtepomp zorgt deze voor warmte in huis en warm tapwater. Een gemiddeld huishouden is hiermee in staat om van het gas af te gaan. Het bedrijf ontving voor dit product de Engie prijs voor de beste innovatie.

Dimark Solar, eveneens een Nederlands bedrijf, heeft dit jaar een vergelijkbaar systeem op de markt gebracht, maar dan zonder warmtepomp! Ik vind het mooie daarvan dat de zonnepanelen in het dak geïntegreerd zijn. Daaronder ligt een buizensysteem. De zon verwarmt het water tot een temperatuur van meer dan 60 graden. Zonnepanelen en buizen liggen op een composiet die werkt als een warmtewisselaar en de onderkant van de zonnepanelen afkoelt. Met dit systeem is een huis 11 maanden zelfvoorzienend. Alleen als het erg koud is moet er elektriciteit aan het net worden onttrokken. Het huis kan dus wel van het gas af, maar niet volledig van de elektriciteit. Beide systemen zijn door TNO getest.



Figuur 9: Zonnepanelen die voor elektriciteit, warmte en warm tapwater zorgen. Links de oplossing van Tripel Solar, rechts die van Dimark Solar

Al met al ligt er voor zonnepanelen een zonnige toekomst van in het verschiet. De variatie zal toenemen en leveranciers en klanten zullen zich nog beter dan nu moeten oriënteren welk het beste alternatief is voor uiteenlopende situaties



Van zonnepaneel naar zonnedak en zonnepan

Inhoud

1. De esthetische waarde van zonnedaken
2. Brandrisico

1. De esthetische waarde van zonnedaken

Hiervoor zijn innovaties besproken die vooral ten doel hadden het rendement en de levensduur van zonnecellen te verhogen bij een aanvaardbare prijs. De prijs is doorgaans evenredig aan het rendement en de kwaliteit.

Een aanzienlijke groep consumenten heeft – begrijpelijk - esthetische bezwaren tegen plaatsing van zonnepanelen. Wie een dak heeft met dakkapellen, schoorstenen en andere afvoerpijpen, houdt bovendien niet erg veel ruimte over. Bij nieuw- of vernieuwbouw zijn er inmiddels fraaie voorbeelden van integratie van zonnepanelen in het dak als geheel ('indaksystemen'). Bovenstaande foto is daar een voorbeeld van. Deze [animatie](#) laat zien hoe een bestaand dak wordt vervangen door een dak met geïntegreerde zonnepanelen.

Als zonnepanelen een onderdeel worden van het dak, ontstaat een egaal geheel, dat bovendien goedkoper is dan het leggen van een nieuw dak met daarop een laag zonnepanelen.

Voor daken van karakteristieke en monumentale panden zijn gangbare zonnepanelen verre van ideaal. Dat geldt ook voor dichtbebouwde binnensteden. Zonnecellen die geïntegreerd zijn in dakpannen - zonnepannen of zonedakpannen - zijn in deze gevallen de gedroomde oplossing. Er zijn inmiddels verschillende typen zonnepannen. De onderstaande foto toont een voorbeeld.



De grootte van deze zonnepannen is vergelijkbaar met die van gangbare dakpannen. Het is duidelijk dat ze uit enkele zonnecellen bestaan, maar op afstand valt dat minder op². Zonnepannen leiden op een onregelmatig schuin dak met dakramen en schoorstenen tot een aanzienlijk eenvormiger geheel dan het geval zou zijn geweest bij plaatsing van zonnepanelen op het dak. De kosten zijn aanzienlijk hoger dan die van het leggen van zonnepanelen. Je krijgt er ook een nieuw dak bij!



Dakleien met geïntegreerde zonnecellen – foto Solesia (Eternit)

De bovenstaande foto toont een alternatief, dat uitsluitend aan de orde is bij (ver)nieuwbouw. Dakpannen of -dakleien kunnen vrijwel onzichtbaar worden gecombineerd met 'strips' waarin zes zonnecellen zijn verwerkt. Op deze manier is een 'naadloze' overgang mogelijk naar de delen van het dak waar zich geen zonnepanelen bevinden.

² De website van de fabrikant van deze zonnepannen bevat een aantal fraaie referenties van oude en nieuwe panden die met deze pannen zijn bedekt: <https://www.zepbv.nl/nl/>

Beide voorbeelden halen het - in mijn ogen - niet bij de zonnepannen die Egon Musk (Tesla) voor zijn eigen huis heeft laten maken en die nu door SolarCity (onderdeel van de Teslagroep) in de VS worden verkocht. Egon Musk vond dat de opwekking van elektriciteit geen afbreuk mag doen aan de visuele kwaliteit van een huis. Dit kwam erop neer dat de zonnecellen niet of nauwelijks zichtbaar mochten zijn. In dit [filmpje](#) licht Egon Musk het ontwerp van 'zijn' zonnepannen toe.

SolarCity brengt inmiddels vier typen op de markt. Ze zijn aangepast aan de in de VS gangbare typen huizen. Ze verschillen aanzienlijk van de dakpannen die wij kennen. De pannen van Solar City zijn vooralsnog niet te krijgen in Europa.



Vier typen zonnepannen van SolarCity – foto: Tesla

Het rendement van zonnepannen ligt ongeveer 20% lager dan dat van zonnepanelen. Dat wordt gecompenseerd doordat in de regel het hele dak ermee wordt bedekt, voor zover dat in de goede richting ligt.

De grootste vraag naar zonnepannen zal komen van renovaties in een stedelijke omgeving en van karakteristieke en monumentale panden. Ik verwacht dat bij overige nieuwbouw- en renovatieprojecten de integratie van conventionele zonnepanelen in daken ook om financiële redenen de voorkeur zal hebben.

Het aantal verschillende typen zonnepanelen en zonnepannen zal de komende jaren verder toenemen. Hetzelfde geldt voor de variatie in prijs en rendement. Daarmee wordt het steeds makkelijker om een keuze te maken die het best bij de gegeven omstandigheden past.

2. Brandgevaar

In 2018 waren er in Nederland 17 branden in woonhuizen waarvan zonnepanelen de oorzaak waren. Een jaar later waren dat er 12. Het geeft te denken dat het in beide jaren om relatief veel indak systemen ging. Dat zijn zonnepanelen die niet op de pannen liggen maar ertussen of in plaats ervan. De kans op een brand in dit soort systemen is 20 maal groter dan bij de traditionele montage. Toch zou dat niet hoeven. De belangrijkste brandoorzaak is dat 'indak panelen' te dicht op brandbare dakisolatie worden gemonteerd. In-dak systemen komen steeds vaker voor, maar er zijn geen wettelijke normen op het terrein van de ventilatie en de afstand tot de andere delen van het dak.

De beste manier om brand te voorkomen is een goede installateur in de arm te nemen. [Zonnekeur](#) laat de aangesloten bedrijven controleren door een onafhankelijke stichting. Bedrijven die zijn aangesloten bij de [Stichting Garantiefonds ZonneEnergie](#) hebben minimaal een jaar ervaring met het leveren en installeren van zonnepanelen.



Zonnepanelen kunnen (bijna) overal liggen

Inhoud

1. Op bedrijfsdaken
2. In ramen
3. Tegen gevels
4. Op wegen
5. Op geluidsschermen
6. In asfalt
7. In plaats van mais
8. Op plassen en meren
9. In de zee
10. Concurrerende natuurbelangen

1. Op bedrijfsdaken

Het oppervlak van het zonnedak van het [magazijn van Coolblue](#) in Tilburg (afbeelding boven) is 88.000 m². Met de aanleg ervan is net begonnen. Er komen [steeds meer bedrijven](#) die hun daken vol leggen met zonnepanelen.

Maar het is slechts een voorzichtig begin. Om in 2050 de uitstoot van CO₂ met 95% te beperken moeten alle geschikte daken van gebouwen en woningen met panelen worden bedekt.

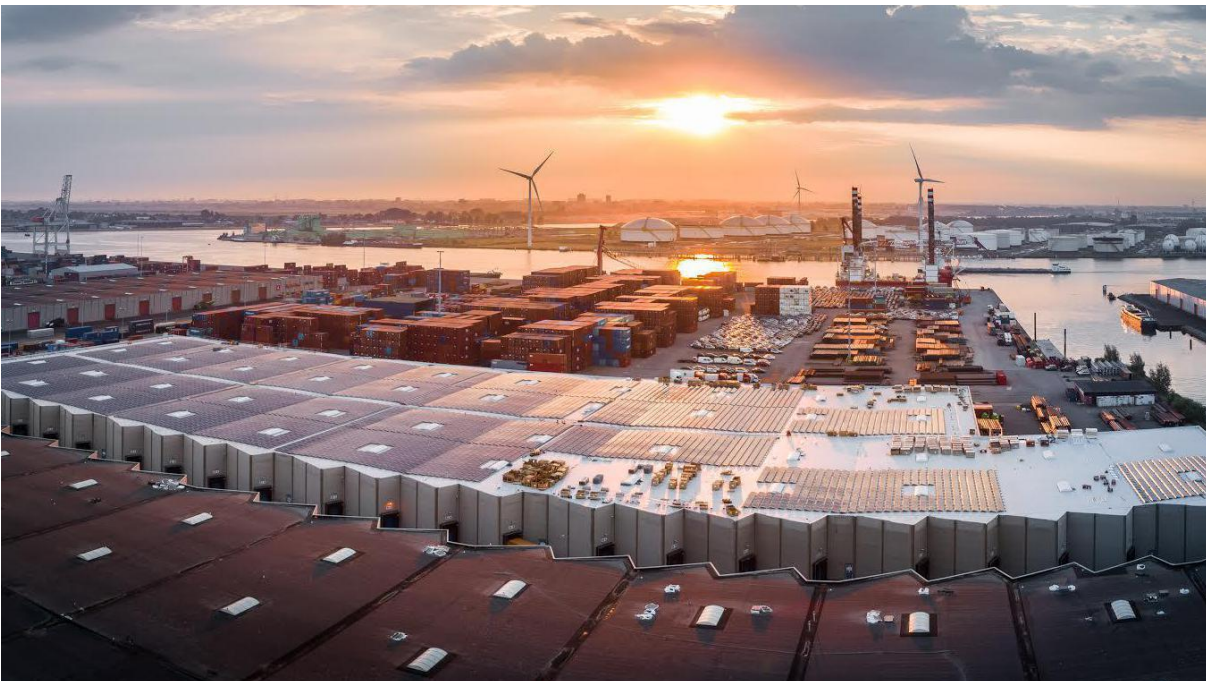
Overigens gaat het niet alleen om daken. Sommige bedrijven leggen ook enorme zonneweiden aan: 130.000 zonnepanelen bij SunPort bij Delfzijl. Scaldia in Vlissingen legt 140.000 panelen neer en [Shell in Moerdijk](#) 76.000 stuks. Dit laatste zonnepark werd binnen 35 dagen aangelegd. Dit [filmpje](#) is een time-lapse opname van de aanleg.

Financieringsmogelijkheden

Het Enschedese bedrijf *Pure Energy* gaat bij Tata Steel in IJmuiden een van de grootste zonnedaken ter wereld realiseren met een oppervlak van 25 hectare waarop 80.000 panelen komen te liggen.

Het project vergt een investering van 22 tot 23 miljoen euro. *Pure Energy* financiert de productie en montage van de zonnepanelen.

Pure Energy is niet het enige bedrijf dat in de markt is voor oplossingen als deze. De bedrijven *Switch Energy* en *Croonwolter&dros*, verenigd in *Solar Investments (SIDESE)* bieden aan bedrijfsdaken voor 15 jaar te huren, waarna deze worden bedekt met zonnepanelen, zoals recent het distributiecentrum van de *Ter Haak Groep* in de Amerikahaven in Amsterdam. Met 10.000 zonnepanelen op een oppervlak van 30.000 m², het grootste zonnedak in Amsterdam. De energieopbrengst dekt volledig de behoefte aan energie van de logistiek dienstverlener en de omliggende bedrijven



Zonnedak Ter Haak Amsterdam Foto: Ter Haak groep

In beide gevallen hebben de opdrachtgever geen cent geïnvesteerd in de ontwikkeling van het PV-systeem. Integendeel, de betrokken [bedrijven ontvangen huur](#) voor het zonnedak en kunnen bovendien een deel van de opgewekte stroom gebruiken.

Toch helpt ook deze financiële regeling en het feit dat alle rompslomp, in het bijzonder de aanvraag van subsidies, uit handen wordt genomen maar in beperkte mate om bedrijven over de streep te trekken. Er bestaat nog veel koudwatervrees en de mogelijkheid om op deze makkelijke manier te kunnen bijdragen aan de energietransitie leeft nog niet voldoende.

Naar een meer pro-actievere benadering van bedrijven

Hierbij kan een onderscheid worden gemaakt tussen de benadering van individuele bedrijven of instellingen en die van een aantal bedrijven samen, bijvoorbeeld een heel industrieterrein.

Voor de [benadering van individuele bedrijven](#) kunnen het beste installatiebedrijven en/of bedrijven als *Croonwolter&dros* tekenen. Inzet is een integrale aanpak, die behalve de plaatsing van zonnepanelen, batterijen en laadpalen, ook de financiering en regeling van de subsidies, het vinden van mede-afnemers van de stroom en de eventuele renovatie van het dak omvat.

Een goed voorbeeld van een integrale aanpak is de *energiehub* die *Croonwolter&dros* hebben ontwikkeld voor een transferium inclusief zonnepanelen, laadpalen, een accu en een passende net-aansluiting waardoor de [businesscase veel interessanter](#) werd.

Voor de aanpak van een heel industrieterrein kan de gemeente het beste optreden als initiatiefnemer. De mogelijkheden hier gaan ook veel verder dan de aanleg van zonnepanelen alleen. De oprichting van een energiecoöperatie verruimt de mogelijkheid om elektriciteit tegen gunstige voorwaarden in te kopen en te verkopen. Dankzij een voldoende groot aantal laadpalen kunnen de werknemers overdag – als de stroom het goedkoopst is – hun auto's opladen.

2. In ramen

Het plaatsen van vensterglas in huizen en gebouwen kan in de toekomst een vast onderdeel worden van het werk van leveranciers van zonnepanelen. Het vervangen van gebruikelijk vensterglas in de miljarden ramen van appartementen en kantoren door glas voorzien van fotonvoltaïsche cellen (building integrated photovoltaic) is een steeds realistischer optie.

Huizen en gebouwen vertegenwoordigen 40% van het wereldwijde energieverbruik. Om hierin te voorzien zijn zonnepanelen op het dak bij lange na niet voldoende, vandaar dat opwekken van energie door middel van vensterglas een jarenlang gekoesterde wens is, zeker in het geval van hoogbouw die bijna geheel uit glas lijkt te bestaan.

Glas voorzien van fotonvoltaïsche cellen gebeurt al lang - kijk maar naar de perronoverkapping van het centraal station in Utrecht - maar gaat tot dusver altijd ten koste van zijn transparantie.

Op het eerste gezicht lijken het opwekken van energie en het behoud van volledige transparantie onverenigbaar. Fotonvoltaïsche cellen gebruiken immers licht van dezelfde frequenties die het menselijk oog kan zien. De afgelopen 10 jaar hebben onderzoekers van MIT, UCLA, Michigan State University en onder andere de Technische Universiteit Delft [voortgang geboekt](#) bij het overbruggen van beide doelstellingen.

Tot nu toe zijn *Luminescent Solar Concentrators* de meest veelbelovende technologie om de levering van elektriciteit en transparantie te combineren. Dit zijn ramen die zijn voorzien van een coating (de 'golfgeleider') die een deel van de zonnestraling zijwaarts afbuigt.

Deze wordt omgezet in elektriciteit in smalle stroken aan de zijkant van de ramen waarin fotonvoltaïsche cellen zijn bevestigd.

Het rendement van de stroomopwekking hangt nog grotendeels af van de aard van de coating maar nog steeds geldt, hoe meer elektriciteit wordt opgewekt, hoe minder transparant het venster is. Desondanks is een aantal producten dat deze technologie gebruikt al succesvol [op de markt gebracht](#).



Onyx Solar, een wereldwijd opererend bedrijf, heeft een van 5575 m² groot dakvenster van het voormalige Bell Building voorzien van elektriciteitsopwekkend glas (afbeelding). De meest transparante panelen combineren een transparantie van 30% met een piekvermogen van 28 watt (m²). Dit is ongeveer [25% van de output](#) van dunne film zonnepanelen.

Een ander voorbeeld is het hoofdkantoor van de Goede doelen loterij in Amsterdam (afbeelding). Hier heeft de startup van de Technische Universiteit Delft Physee een gevel voorzien van 100 bijna-transparante [Power Window](#) glazen panelen. Deze overtreffen de transparantie van die ramen van Onyx, maar - niet bij verrassing – [wekken minder elektriciteit op](#), namelijk 8 - 10 watt (m²).

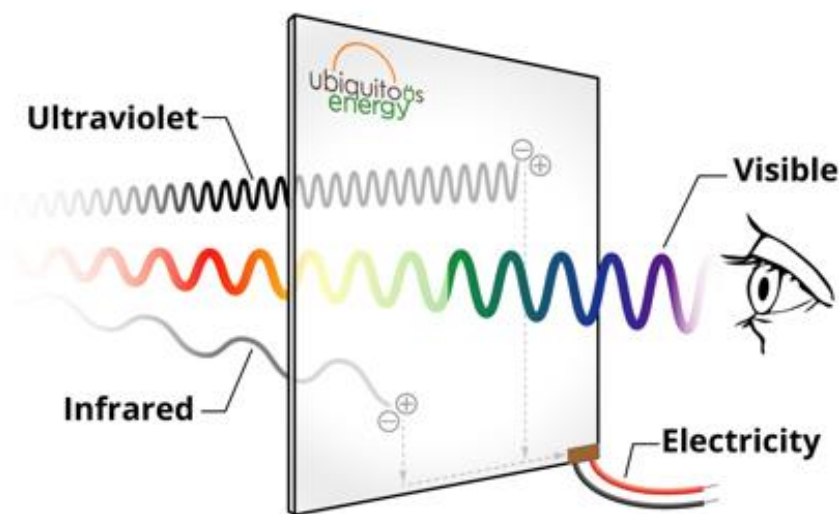
ClearView, een doorbraak

Een paar jaar geleden, koos een groep onderzoekers van de Michigan State University een andere koers. Ook zij kozen voor een volledig doorzichtige coating, dunner dan 1/1,000ste millimeter. Het bijzondere is dat deze coating bijna uitsluitend ultraviolet en infrarood licht filtert en dit omzet in elektriciteit. De resterende straling, het zichtbare deel van het spectrum, wordt doorgelaten.



Bovenstaande foto laat zien hoe het is om naar buiten te kijken door een raam van ClearView. De [voornaamste beperking](#) van ClearView is de omvang van het paneel, maximaal 60 x 60 cm. Opscaling hiervan is topprioriteit van het bedrijf. Ook de slijtvastheid van de coating moet nog blijken. De [meerprijs bij grootschalige toepassing](#) bedraagt ongeveer 20% ten opzichte van gebruik van glas zonder filter.

De startup [Ubiquitous Energy](#) werkt vanaf 2012 aan de ontwikkeling van dit idee. Het heeft jaren geduurd voordat het glas op de markt kon worden gebracht. Dat gebeurt vanaf begin 2020 in samenwerking met de NSG groep, een van 's werelds grootste producenten van vlakglas.



De De transparantie van ClearView is 38,3% (die van 'gewoon' vensterglas varieert tussen de 30 – 80%) en 9,8% van het zonlicht wordt omgezet in energie (de conversie van een standaard zonnepaneel is ongeveer 25%). Deze combinatie overtreft elk ander transparant zonnepaneel tot nu toe. Een korte [recente video van CNN](#) over Clear-

View kan hier worden bekeken.

Met zijn huidige visuele transparantie is ClearView probleemloos te gebruiken als glas voor woningen en kantoren, net als de ramen van Physee trouwens. De laatste zijn ook in grotere formaten leverbaar, maar wekken viermaal minder stroom op. Al met al, mogelijk een gigantische doorbraak in de opwekking van zonne-energie, die menigeen op de voet zal volgen.

3. Tegen gevels

Onze toekomstige elektriciteit hoeft niet alleen van windmolens, zonnepanelen, zonnepannen en vensters te komen. Wat te denken van de integratie van zonnecellen in gevels. Ook hier is het rendement niet spectaculair. Als de architect van meet af aan muurplaten die elektriciteit genereren integreert in het ontwerp, kan dit leiden tot mooie resultaten. De navolgende foto's toont Copenhagen International School in Nyhavn, waar de gevelpanelen alleen al 50% van de benodigde energie leveren. De tweede foto is van een flatgebouw in Heerlen.



4 Op wegen

Het ingenieursechtpaar Julie en Scott Brusaw droomt al vanaf 2006 om alle wegen in de VS te voorzien van zonnepanelen. Dat levert driemaal de hoeveelheid energie op die het land nodig heeft en de uitstoot van broeikasgassen wordt met 75% verminderd.

Het is aardig om naar hun YouTube [filmpje](#) te kijken, iets dat inmiddels al 22 miljoen keer is gedaan. Zonnepanelen in het wegdek is nog maar het begin! Met dit filmpje hebben Julie en Scott Brusaw een paar miljoen dollar crowd funding bijeengesprokkeld voor het doen van proeven. Tot resultaten hebben die niet geleid.

Frankrijk

Proeven zijn er ook geweest in Frankrijk. Het Franse bedrijf Colas heeft in 2016 ten westen van Parijs over een afstand van een kilometer zonnepanelen - met de toepasselijke naam Wattway - in het wegdek gelegd.



Figuur 10 Provinciale weg in Frankrijk, half bedekt met zonnepanelen

Het gaat om 2.880 zonnepanelen, die samen 280.000 kilowattuur per jaar kunnen opleveren, of te wel stroom voor bijna 100 huishoudens. Bij deze verwachting werden van meet af aan [twijfels](#) geuit. De panelen waren voorzien van een bescherm-laag van siliconen. De aanlegkosten bedroegen € 5 miljoen.

Het project is een mislukking geworden. Er was onvoldoende rekening gehouden met het feit dat de - overigens niet erg drukke

- weg bereiden wordt door zware landbouwvoertuigen. Die hebben de siliconen laag en vervolgens ook de onderliggende panelen ernstig beschadigd. Bovendien maakte de weg veel [lawaaï](#) en de energieopbrengst viel inderdaad tegen. Van plannen om het project op te schalen naar de Franse autowegen werd na deze mislukking niets meer vernomen.

Krommenie

Al in 2014 heeft de gemeente Krommenie al een stuk openbare weg, een fietspad weliswaar, bedekt met zonnepanelen. Een [wereldprimeur](#) waar veel belangstellenden op af kwamen.

De noordelijke helft van het fietspad bestond uit een serie geprefabriceerde panelen met een bovenlaag van gehard glas met een dikte van een centimeter, voorzien van een soort coating. De zuidelijke helft van het fietspad had alleen een coating. De toplaag heeft voor de nodige problemen gezorgd. Deze was na een half jaar bij ongeveer de helft van de elementen beschadigd. Uiteindelijk is de glasplaat verwijderd en is er een nieuwe coating aangebracht.

Het fietspad in Krommenie heeft in zijn eerste levensjaar meer stroom geleverd dan gedacht: Het 70 meter lange wegdek leverde 9.800 kilowattuur op, goed voor drie huishoudens

De [kosten van de pilot](#) waren aanzienlijk, € 3 miljoen. Voor hetzelfde geld had 520.000 kWh met conventionele panelen op daken geleverd kunnen worden. Volgens Sten de Wit (TNO) gaat het hierbij echter voor een belangrijk deel om [ontwikkelingskosten](#), waarvan projecten in de toekomst kunnen profiteren.



Fietspad bedekt met zonnepanelen in Krommenie (Foto's Solaroad)

In oktober 2016 is de pilot uitgebreid met zeven nieuwe elementen met verbeterde eigenschappen. Daartoe is een [subsidie](#) van een half miljoen beschikbaar gesteld. Twee elementen van de eerste generatie zijn verwijderd zodat de pilot in totaal met ongeveer dertien meter is verlengd. In februari 2017 bleek dat de toplaag van een van de nieuwe elementen opnieuw was afgebrokkeld.

Afgezien van de verrichte reparaties, liggen de panelen er na vijf jaar goed bij en ze blijken niet erg gevoelig voor beschadiging of vervuiling.

Spijkensisse en Schiphol

De provincie heeft na deze in haar ogen succesvolle pilot besloten om het zonnewegdek SolaRoad ook te testen voor zwaar verkeer. Op twee verschillende plekken, bij Spijkensisse en Schiphol begin 2019 in totaal 150 strekkende meter [nieuwe zonnewegdek](#) in gebruik genomen. Honderd meter zonnewegdek levert jaarlijks ongeveer 30.000 kilowattuur aan energie op.

Al na een week bleek dat de panelen niet tegen het verkeer bestand waren. In juli 2019 is het project definitief gestopt, omdat de SolaRoad niet meer te herstellen was. De provincies Zuid- en Noord-Holland, TNO en bouwbedrijf Strukton hebben in totaal [7 miljoen euro](#) in het experiment gestopt. Dat geldt zijn ze kwijt, maar het heeft het nodige inzicht verschaft in de haalbaarheid van zonnepanelen in het wegdek.

Er lopen echter nog andere experimenten zijn. De inzet is dan ook hoog. Wanneer in de toekomst een derde van het totale Nederlandse wegennet (140.000 km) uitgerust zou kunnen worden met een zonnewegdek, zouden daarmee 9 miljoen auto's van elektriciteit kunnen worden voorzien.

A2

Bouwbedrijf BAM test berijdbare zonnepanelen op een stuk vluchtstrook van de A2. 50 m² levert 3500 kilowattuur op, goed voor de stroomvoorziening aan een huishouden. Niet veel, maar langs de Nederlandse wegen ligt 20 miljoen m² vluchtstrook! BAM werkt in Utrecht samen met het Franse bedrijf Wattway, dat we hiervoor al tegen kwamen. De PV-panelen zijn niet ondergebracht in een zware betonnen tegels zoals bij SolaRoad, maar rechtstreeks op het asfalt verlijmd op een dun plaatje compositiet. Dit [filmpje](#) toont de bouwers in actie.

De les van de beschreven experimenten is dat vooralsnog alleen fietspaden en vluchtstroken, voor zover deze niet wordt gebruikt als spitsstrook, een goed uitgangspunt bieden om verder te experimenteren met in de weg geïntegreerde zonnepanelen.

5. Op geluidsschermen

Rijkswaterstaat, TNO en bouwbedrijf Heijmans hebben langs de oostzijde van snelweg A50 in Uden een [geluidsscherm](#) uitgerust met dubbelzijdige zonnepanelen. Het project heet *Solar Highways*. Dit [filmpje](#) geeft een beeld van de aanleg.

Over een lengte van 400 meter is 1.600 vierkante meter zonnecellen verwerkt in het glazen scherm van een geluidswal. Het gaat om 136 zogeheten bifaciale zonnepanelen; panelen die aan twee kanten zonnecollectoren hebben. Deze panelen zijn vijf meter hoog; de zonnecellen zitten in de bovenste vier meter.

De kosten van het project bedroegen € 4,3 miljoen. De Europese Commissie heeft een [subsidie](#) van circa € 1,4 miljoen verleend.



Geluidsscherm met dubbelzijdige zonnepanelen Foto: Rijkswaterstaat

Bijzonder is dat de schermen niet naar het “zonnige” zuiden zijn gericht, maar op het oosten en het westen. De opbrengst aan energie is dankzij de tweezijdige zonnecellen vrijwel onafhankelijk van de richting waarin de snelweg loopt. De ochtend- en middagzon worden steeds optimaal benut. Ook is door een speciaal ontwerp het effect van schaduwwerking beperkt.

Vanaf de ingebruikname in december 2018 tot de zomer van 2020 meet TNO de opbrengst van het project. Daarbij komen [vragen](#) aan de orde als: Wat levert de stroomproductie van het zonneluidsscherm op, treedt er vervuiling van de zonnepanelen op, omdat ze langs een drukke weg staan en is het geluidsscherm bestand tegen vandalisme?

Meer in het bijzonder zijn de volgende [doelen](#) gesteld en zal worden nagegaan in welke mate deze zijn gerealiseerd.

1. Demonstratie van de technische haalbaarheid voor de integratie van zonnecellen in gangbare en op brede schaal toepasbare constructie-elementen voor geluidsschermen.
2. De ontwikkeling van een economisch haalbaar technisch en organisatorisch uitvoeringsmodel om in de toekomst breder te kunnen worden toegepast.
3. De ontwikkeling van een prototype met geïntegreerde tweezijdige zonnecellen.
4. Full scale demonstratie op een 400 meter lang traject.
5. De energieopbrengst en beheeraspecten gedurende een achttien maanden durende testperiode in de praktijk volgen.
6. Presenteren van een business case voor het scherm ten opzichte van de huidige praktijk.
7. Communicatie en verspreiding van de resultaten en toegevoegde waarde van geïntegreerde PV-modules.



Afwerking zonnepanelen op viaduct. Foto: Rijkswaterstaat

De voornaamste bevindingen zijn:

- Aanvankelijk werd geschat dat het geluidsscherm voldoende energie zou opwekken voor zo'n vijftig huishoudens. Uit de eerste metingen blijkt de opbrengst met 200 megawatt per jaar zo'n [twintig procent hoger](#) is.
- Vervuiling van het scherm blijkt nagenoeg geen invloed te hebben op de opgewekte hoeveelheid energie.
- Een probleem blijven voornamelijk de kosten. Daarom wordt uitgekeken naar technologieën als het gebruik van dunne film om de gewenste kostprijsverlaging te realiseren.

Hoopvolle resultaten, maar veel te onvolledig om een oordeel te hebben over een eventuele opschaling. Als de kosten - € 4,3 miljoen - uitsluitend de zonnepanelen betreffen dan zouden in plaats van 60 huishoudens, zo'n 1000 huishoudens voorzien kunnen zijn van conventionele zonnepanelen. Je wil dus weten hoe duur een 'gewone' geluidswal is en dus hoe hoog de extra investering in de zonnepanelen is. Ook nu worden geluidswallen hier en daar van glas gemaakt en deze

zitten in de kortst mogelijke keren onder verf. Gaat Rijkswaterstaat de zonnepanelen wel schoonmaken en hoeveel kost dat?

Kortom met nog vele vierkante kilometers daken van huizen en bedrijfsgebouwen waarop nog geen zonnepanelen liggen, zou ik beleidsmatig daar mijn prioriteit leggen.

6. In asfalt

Zonnecollectoren in wegen is een mooi idee, maar de uitvoerbaarheid is valt tegen. Lees daarover in een eerdere blogpost. Maar dat ligt anders als we het asfalt zelf gebruiken, weliswaar niet als paneel, maar wel om zonnewarmte te absorberen. Om beter te begrijpen waarover het gaat is het handig om eerst een [filmpje](#) te bekijken.

Structon dochter *Ooms Road Energy Systems* (voorheen de Ooms Avenhorn groep) ontwikkelt al bijna 20 jaar systemen waarbij [energie uit asfalt](#) kan worden geëxploiteerd. Hiertoe wordt asfalt voorzien van buizen. Door deze buizen stroomt in de zomer koud water dat in het warme asfalt flink opwarmt. Het opgewarmde water wordt bewaard in een waterhoudende laag (aquifer) op een diepte van 100 – 200 meter. In de winter wordt dit warme water opgepompt en staat zijn warmte via een warmtewisselaar af aan de te verwarmen gebouwen of huizen. Hierna stroomt het weer naar een andere aquifer. In feite gaat het hier om een systeem van [warmte-koude opslag](#). Het grote probleem daarbij is dat er meer warmte aan de bodem wordt onttrokken dan terugkeert. Door het opnemen van een asfaltzonnecollector in dit systeem wordt dit probleem verholpen. We spreken dan van regeneratie van energie in de bodem, met als resultaat een duurzame energiebalans.



De buitenconstructie klaar om te worden geasfalteerd (Foto: Ooms Road Energy Systems)

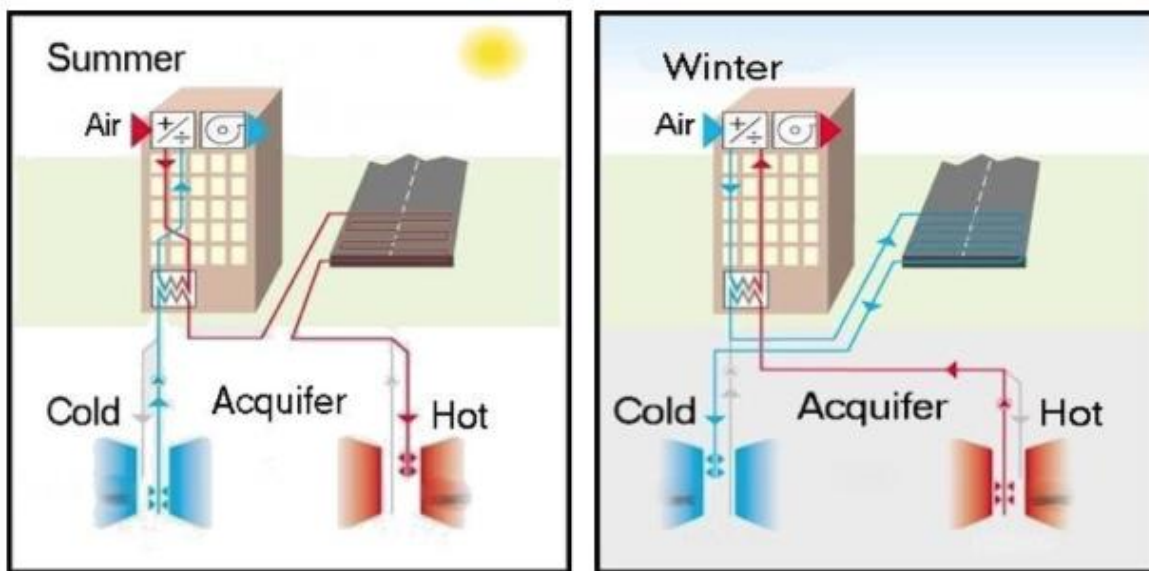
Wat nog mooier is; nadat het water in de winter zijn warmte voor een belangrijk deel via een warmtewisselaar heeft afgegeven aan huizen en gebouwen, stroomt het via de buizen onder het wegdek terug waardoor deze wegen niet meer bevriezen. In de zomer verloopt het proces omge-

keerd. Het water uit de relatief koude aquifer kan in de zomer met behulp van dezelfde warmtewisselaar worden gebruikt om gebouwen af te koelen. Het bodemwater warmt hierdoor op en wordt in de warmwater aquifer opgeslagen.

Nog een voordeel is dat het asfalt minder slijt omdat extreme temperatuurwisselingen in het wegdek verdwijnen. Wel worden aan het asfalt zelf hoge eisen gesteld; het moet onder andere voldoende soepel zijn om tijdens het aanbrengen de ruimten tussen de buiten en het grit waarin deze zijn bevestigd op te vullen. Ook is het mogelijk te zijner tijd het asfalt weer van de buizen te scheiden met het oog op hergebruik van zowel het asfalt als de buizen.

Wat tevens aanspreekt is dat er van dit hele systeem van energiewinning [aan het oppervlak niets te zien](#) is. Geen windmolens, geen zonnepanelen, geen kolencentrales.

De onderstaande schematische tekening laat zien hoe het systeem 's zomers en 's winters werkt.



De [opslag in zomer en winter](#) van warm en koud water in de bodem

In het geval van grootschalige toepassing dit systeem goedkoper is dan andere vormen van warmwatervoorziening. Er is een oppervlak van ongeveer 400 m² nodig voor de verwarming en koeling van een oppervlak van 100 m². Deze berekeningen nemen echter niet de aanlegkosten van een warm- en koud-waternetten mee en ook ontbreekt een vergelijking met het gebruik van industriële restwarmte, die tegenwoordig ook van grote betekenis wordt gezien voor de aanleg van stadsverwarming. Een grootschalige doorbraak is voornamelijk uitgebleven. Zelf denk ik dat het systeem zijn tijd vooruit was.

Voor de levering van de warmte en koude op een bedrijventerrein in Heerhugowaard heeft Kodi een Energy Service Company (Esco) opgericht, in de vorm van een [coöperatie](#). De afnemer betaalt een bedrag volgens het niet-meer-dan-anders principe. De CO₂-rechten komen gratis beschikbaar ten behoeve van de afnemers. Het verdienmodel van de coöperatie zit in de lage inkoopprijs die wordt betaald voor de (overtollige) warmte, die vervolgens met slimme technologieën efficiënt wordt opgeslagen en aangeboden aan de afnemers. Voor dit project is ook subsidie verkregen van het Europees Fonds voor Regionale ontwikkeling en de provincie Noord-Holland.

De vraag stijgt inmiddels explosief en in het bijzonder dat gemeenten ervoor voelen om asfaltcollectoren in integreren in projecten voor warmteopslag met het oog op hun regeneratieve werking.

Het is zeer terecht dat asfaltcollectoren een serieuze rol gaan spelen bij de warmtevoorziening in de komende decennia. Het is niet realistisch om van een alternatief te spreken voor zonne- en windenergie. Daarbij gaat het immers in de eerste plaats om de elektriciteitsvoorziening. Thermische energie, aangevuld met asfaltcollectoren die voor de noodzakelijke regeneratie van de ondergrondse watervoorraden zorgen kunnen wel een doorslaggevende rol spelen bij de verwarming en de voorziening van warm water.

7. In plaats van mais



Voormalig boerenerf, bedekt met zonnepanelen. Foto: AGEM

Wat het plaatsen van zonnepanelen betreft, valt er een wereld te winnen door [bij voorkeur](#) alle geschikte daken van woonhuizen en gebouwen met zonnepanelen te beleggen. Maar ook aan grondgebonden zonnepanelen valt niet te ontkomen.

Heel wat boeren willen best meewerken: Zonnepanelen leveren meer op dan de productie van snijmais en ontwikkelingen in de veehouderij zullen de vraag naar snijmais sowieso doen dalen. Het zijn vooral natuurbeschermers die niet blij worden van grote oppervlakten bedekt zijn met zonnepanelen. Daarnaast leeft er vooral in plattelandsgemeenten een niet te onderschatten weerstand om agrarisch land te onttrekken aan de voedselproductie.

Tegenstanders kunnen echter gerust zijn. Vooralsnog gaat het om een beperkt oppervlak. Het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) verwacht dat in 2050 0,5 % van het agrarisch oppervlak in Nederland met zonnepanelen bedekt zal zijn, een kleine 200 km² met een [opbrengst van 50 petajoule](#), of 14 miljard kilowattuur.

Aan de [Achterhoek](#) zal het niet liggen. Daar loopt al vanaf 2015 het programma [Zon op Erf](#). Dat is in het leven geroepen door [AGEM](#), een regionale energiecoöperatie. De bereidheid van boeren om op de plaats van overtollig geraakte bedrijfsgebouwen, zoals varkensstallen, en een deel van hun akker- en weideland zonnepanelen te leggen is groot. Het gaat om naar verwachting 1500 vrijkomende bedrijfsgebouwen en 750 erven die samen goed zijn voor 2 petajoule of 0,5 miljard kilowattuur.

Zoals blijkt uit de bovenstaande foto, besteedt AGEM veel aandacht aan de inpassing van zonnepanelen in het kleinschalige Achterhoekse landschap.

De praktijk is weerbarstig. Gemeenten moeten vergunningen afgeven en zij kijken heel verschillend aan tegen het gebruik van akker- en weidegrond voor energiedoelinden. De banken staan niet te trappelen omdat het om weliswaar veel, maar relatief kleine projecten gaat. AGEM heeft onlangs de mogelijkheden en de knelpunten geïnventariseerd en dit [rapport](#) bevat waardevolle lessen voor plattelandsenergiecoöperaties met vergelijkbare ambities.

Bijdrage van zonneparken aan de biodiversiteit

Tot dusver is het gebruikelijk om grondoppervlak waarop zonnepanelen worden geplaatst te egaliseren, de bodem en de vegetatie te verwijderen en er gravel of boomschors voor in de plaats te doen. Het *InSPIRE-programma* in de VS (Innovative Site Preparation and Impact Reductions on the Environment) wil daarentegen juist bijdragen aan bodemverbetering. Om die reden worden aan het plaatselijke klimaat aangepaste mengsels van bloemen en planten gezaaid ter [versterking van de biodiversiteit](#). De compacte beplanting zorgt bovendien voor verkoeling, wat het rendement



van de zonnepanelen ten goede komt. In proefgebieden met een warmer klimaat blijken ook uiteenlopende voedingsgewassen zoals tomaten het onder de panelen goed te doen. In deze fase van de ontwikkeling van het project wordt in een vijftal staten in de VS onderzocht welke combinaties van planten het beste gedijen en de meeste insecten aantrekken (nevenstaande afbeelding)

Energieproducent en boer tegelijkertijd

Veel boeren hebben berekend dat ze het rendement van hun grond kunnen verbeteren door landbouwgewassen te vervangen door zonnepanelen. Maar wat als ze de grond voor beide doelen tegelijkertijd zouden gebruiken? We spreken over 'agrophotovoltaics' of gewoon duaal grondgebruik.

Al vanaf de jaren '80 wordt [wereldwijd onderzoek](#) gedaan naar hoe dat zou kunnen en wat het effect ervan is op zowel de opbrengst van de grond als die van de zonnepanelen.

De resultaten zijn [hoopgevend](#) – soms neemt de agrarische opbrengst zelfs toe - maar de investeringen zijn aanzienlijk. Het artikel/ [Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review](#) geeft een bruikbare samenvatting van dit onderzoek.

In de meeste gevallen is bij het onderzoek uitgegaan van twee proefopstellingen: Een met zonnepanelen en een zonder. Soms zijn verschillende typen zonnepanelen onderzocht, waarbij de ook de lichtdoorlatendheid varieerde. In alle gevallen zijn sensoren gebruikt om de boven- en ondergrondse temperatuur te meten, het vochtgehalte van de lucht tussen zonnepanelen en de bodem en de impact van de schaduw van de panelen op de groei van de planten en de gevolgen voor het vochtgehalte in de grond.

Ook zijn zeer uiteenlopende soorten opstellingen van de zonnepanelen onderzocht, waarbij het vooral ging om de hoogte, de dichtheid en het effect van het laten meebewegen van de zonnepanelen.

Bij het onderzoek zijn vrijwel alle voorkomende soorten planten betrokken, variërend van tomaten en aardbeien tot mais. Ook is de combinatie met het houden van dieren, met name schapen onderzocht.

Van [impact van zonnepanelen](#) op de gewasteelt is nauwelijks sprake als deze op een hoogte van vier tot vijf meter worden geplaatst en een bedekkingsgraad van 30% hebben. Op deze hoogte kunnen landbouwmachines er makkelijk onder door (foto). Een alternatief zijn [verrijdbare zonnepanelen](#). De energieopbrengst leidt uiteraard wel onder de gevolgen van deze opstelling en de [visuele impact](#) is dermate groot dat het de vraag is of ooit toestemming voor een dergelijke constellatie wordt gegeven en of de investeringen terugverdiend kunnen worden. Bovendien kan op een zo grote hoogte afvallend regenwater tot bodemerosie leiden.



Zonnepanelen in combinatie met [aardappelveld](#) en schapenhouderij

Het uiteindelijke rendement is het resultaat van het gecombineerde effect van de wijze van plaatsing van zonnepanelen, de keuze van de gewassen en het klimaat. Naarmate de zonnepanelen dichter bij de grond worden geplaatst, neemt het verschil tussen temperatuur overdag en 's nachts af, neemt de luchtvochtigheid toe en neemt de directe instraling door de zon (schaduwwerking) met ongeveer 20% af. Dat geldt door het hele oppervlak omdat uiteraard de positie van

de zon voortdurend verandert. In een subtropisch milieu bleken deze omstandigheden te leiden tot een meer dan [verdubbeling van de oogst](#) van pepers en cherrytomaten. Het feit dat het overdag onder de panelen wat koeler is, heeft bovendien een positieve uitwerking op het rendement van de zonnepanelen. In het algemeen valt de grootste impact te verwachten van duaal grondgebruik in (sub)tropische gebieden. In meer gematigde streken concentreert onderzoek zich naar het effect op producten die nu onder [foliekappen](#) worden geteeld, bijvoorbeeld aardbeien en frambozen. Zonnepanelen nemen dan de beschermende functie van het folie over. Duidelijk is wel dat hiervoor uitsluitend lichtdoorlatende zonnepanelen bruikbaar zijn.

In Nederland zal duaal grondgebruik niet op grote schaal tot ontwikkeling komen; er wordt sowieso uit landschappelijke overwegingen terughoudend omgegaan met grondgebonden zonnepanelen. In veel gevallen kunnen zonneparken goed worden gecombineerd met het houden van schapen (foto). Verder zou in elk geval de ruimte tussen en deels onder de panelen ingeplant moeten worden met weidebloemen, waardoor ze een eldorado voor vinders en beien worden en daarmee een positieve impact op mens en natuur hebben.

8. Op het plassen en meren

[Drijvende zonnepanelen](#) leveren weinig problemen op. Het water zorgt bovendien voor koeling en bij gebruik van dubbelzijdige panelen wordt het rendement verder verhoogd, wat opweegt tegen de wat hogere aanlegkosten. Ook gaan drijvende zonnepanelen de groei van algen tegen. Drijvende zonnepanelen op zee hebben nog meer voordelen. Daarover aanstonds meer.

De meest voorzichtige schatting gaat uit van een potentieel van [400 miljoen gigawatt](#), wereldwijd en alleen al op kunstmatige wateroppervlakten, zoals zandwinningsplassen, voormalige mijnen en stuwmeren. De VS kan op deze wijze voorzien in ongeveer 10% van de huidige energiebehoefte. Het zijn vooral dichtbevolkte gebieden waar de belangstelling voor drijvende panelen groot is. Dit uiteraard vanwege de schaarste aan geschikt landoppervlak. Met drijvende zonnepanelen kan ook de schaal van zonneparken worden vergroot. Een km² wateroppervlak is goed voor [195 – 250 gigawatt](#) of te wel 65.000 – 85.000 (Nederlandse) huishoudens.

Een installatie met drijvende zonnepanelen bestaat uit (dubbelzijdige) panelen, die bevestigd zijn op pontons welke met kabels aan de bodem zijn bevestigd. De opgewekte elektriciteit wordt met kabels op of onder water naar een omvormer te land vervoerd en afgegeven aan het elektriciteitsnet.

Azië en de VS lopen voorop

Verschillende Aziatische landen, waaronder China, Zuid-Korea, India, Japan en Singapore zijn voorlopers en het aantal aangelegde installaties en ook de omvang daarvan groeit snel. Dit [filmpje](#) toont de grootste drijvende zonneparken ter wereld, maar het kan nu al achterhaald zijn.

Vooralsnog bevindt de grootste drijvende installatie, ook getoond in de voornoemde video, zich in China in een kunstmatig bekken in de provincie Anhui. Het vermogen is 40 megawatt en de installatie bestaat uit 165.000 panelen.



Drijvende zonnepanelen op een irrigatiebekken in Hyogo, Japan. Foto: Ciel & Terre International

Het heeft even geduurd, maar nu [blijven de VS niet achter](#). In 2018 is goedkeuring verleend voor de aanleg van een 11,6 megawatt installatie in het Van Norman Lakes Reservoir in Californië. Een studie in het tijdschrift [Environmental Science & Technology](#) geeft een overzicht van bijna 25.000 kunstmatige meren en bassins in de VS die potentieel geschikt zijn voor drijvende zonnepanelen. Als ruim 25% van hun totale oppervlak zou worden gebruikt, was dat goed voor 10% van de totale energiebehoefte van de VS.

Nederland



Figuur 11: Voorgevormde pontons (boven) en standaard vloten (onder) - bron Wereldbank:

Voor het laten drijven van zonnepanelen worden vooral zandwinningsplassen gebruikt. Zie de website van [Groen Leven](#) voor een aantal voorbeelden, zoals de Bomhofplas bij Zwolle (72.000 panelen; foto boven), en plassen bij Kloosterhaar (40.000 panelen) en Tynaarlo (38.000 panelen, indien volledig voltooid). [TNO](#) verwacht een verdere groei (afbeelding), die na 2023 beslist niet zal zijn afgelopen.

Deze [video](#) toont een aantal beelden van de aanleg van het drijvende zonnepark op de Bomhofplas bij Zwolle. Dit zonnepark is het grootste en drijvende zonnepark buiten China. Dit park is in het bezit van lokale partijen.

Zeker op kalm water gaat het plaatsen van zonnepanelen moeiteloos. Er worden twee soorten pontons gebruikt: voorgevormde,

waarop de panelen eenvoudig vastgezet worden en metalen stellages, die ook op het land worden gebruikt en die gemonteerd worden op standaard vloten (zie onderstaande afbeeldingen) Een hele enkele keer gaat het ook wel eens fout. Onlangs brak tijdens een heftige storm de tijdelijke verankering van een bijna gereed zonnepark bij [Neets](#) (Friesland) (34.000 panelen), waardoor een aantal panelen op de wal terecht kwam en stevige schade ontstond. De definitieve verankering zou enkele dagen later worden aangelegd.

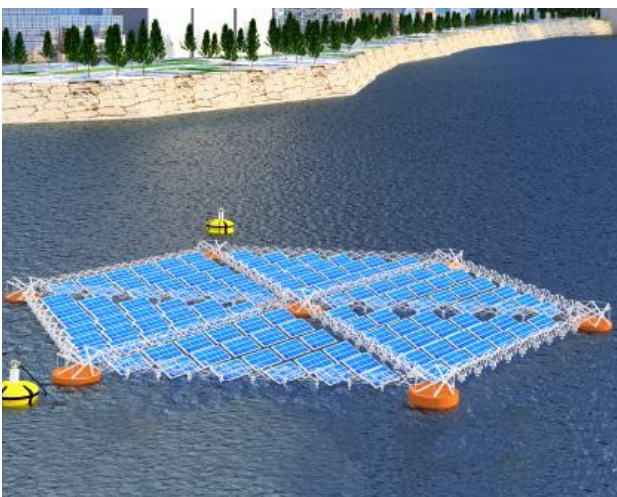
9. In de zee

Opzienbarender zijn de plannen om zonnepanelen aan te leggen in zee. In 2017 zijn enkele bedrijven, waaronder [Oceans of Energy](#) in samenwerking met TNO begonnen aan het ontwikkelen, bouwen en testen van de eerste offshore drijvende installatie ter wereld. Het gaat om een vooralsnog beperkt vermogen van 50 kilowatt. De installatie heeft tot nu toe alle stormen doorstaan.



Drijvende zonnepanelen op de Noordzee. Foto: Oceans of Energy

Uitbouw van installaties met [zonnepanelen op de Noordzee](#) is een aantrekkelijk vooruitzicht. Ze concurreren niet met de geplande windmolens, want ze kunnen ertussen worden gelegd. In dat geval wordt de hoeveelheid energie die per oppervlakte-eenheid op de Noordzee wordt gewonnen met een factor vijf vermenigvuldigd. Met minder dan 5% van het totale oppervlak van de



Figuur 12: Prototype van Dweeps. Bron Sea6

Noordzee, kan de helft van de totale Nederlandse energiebehoefte worden gedekt. Zonnepanelen op zee zijn ook goed voor de visserij. De platforms vormen namelijk een beschermd woongebied voor jonge vis en ze vergemakkelijken de teelt van mosselen en zeewier.

Bij het ontwerpen van 'zeewaardige' vloten met zonnepanelen moeten een aantal eisen worden voldaan, zoals resistentie tegen sterke wind en hoge golven, bescherming tegen corrosie en ankers die minstens 25 jaar meegaan.

Ook elders ter wereld wordt geëxperimenteerd met zonnepanelen op zee en dan vooral op plaatsen waar geen elektriciteitsbronnen zijn, afgezien van dieselaggregaten en er ook te weinig ruimte is om panelen op land neer te leggen.

Het bedrijf Sea6 Energy heeft een effectief systeem van drijvende eilanden ontworpen dat zorgt voor demping van de golven onder de meest barre omstandigheden, de zogenaamde [Dweeps](#). Er is een prototype gebouwd voor de kust van Tamil Nado en de resultaten worden zeer veel belovend genoemd.

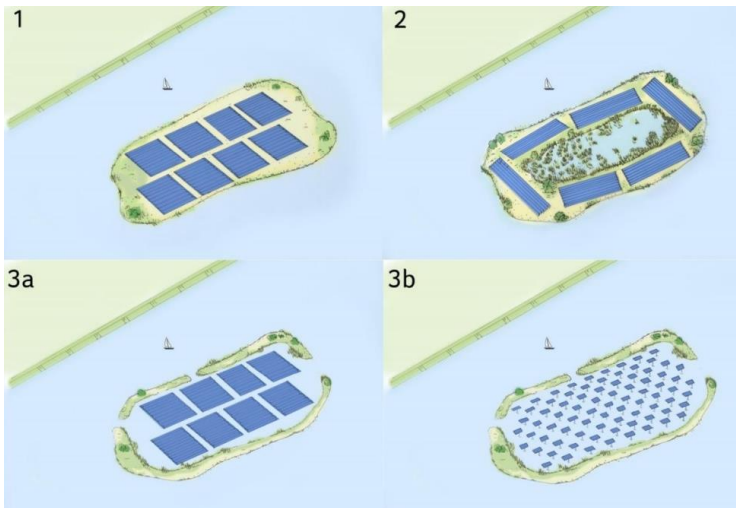
10. Concurrerende natuurbelangen

De voordelen van zonnepanelen op water lijken aanzienlijk groter dan de nadelen. Lastiger wordt het als zich dilemma's voordoen, waarbij het ene milieubelang concurreert met het andere. Na vele decennia van rooibouw op de natuur, worden steeds vaker hersteloperaties uitgevoerd. Zo investeert de rijksoverheid de komende jaren €110 miljoen in natuurherstel van het IJsselmeer. Het IJsselmeer heeft van Europa de beschermde juridische status Natura 2000 gekregen om soorten als toppereend, brilduiker, grote zaagbek, nonnetje en vele andere te beschermen. Een van de natuurherstelprojecten is de Wieringerhoek. Beschermde en bedreigde vogelsoorten zoeken dit gebied op, om in groepen van tienduizenden op het grote open water te rusten en voedsel te zoeken.



Impressie Wieringermeer met binnendijkse achter-oevers met waterrijke natuur en zonnepanelen.
Bron: [Bureau Strooming](#)

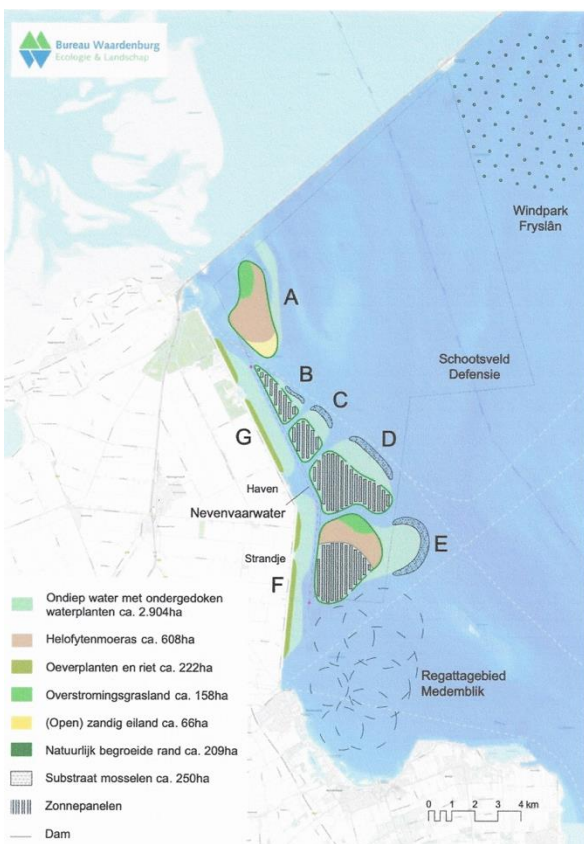
Alle provincies langs het IJsselmeer zijn drukdoende geweest met het opstellen van Regionale Energiestrategieën (RESsen) en ieder voor zich heeft daarbij het oog vallen op de mogelijkheden van het IJsselmeer.



De provincie Noord Holland had al verschillende alternatieven ontwikkeld voor natuurherstel in de Wieringerhoek en zij heeft toen Deltares gevraagd een voorstel te ontwikkelen om de opwekking van elektriciteit door middel van zonnepanelen hierin te integreren. Deltares heeft voor dit doel de aanleg van zonneatollen bedacht, naast de natuureilanden die al in het oorspronkelijke herstelplan waren opgenomen. Nevenstaande afbeelding toont vier varianten

van de plaatsing van zonnepanelen in een atol (Bron: [Deltares](#))

Het plan voorziet in een ophoging van de bodem in de atollen onder de zonnepanelen met lokaal sediment. Hierdoor kan het licht blijven doordringen tot aan de bodem. Dit is gunstig voor waterplanten, vis en mosselen. Er komt nogal wat bij kijken (vooral veel geld) en daarom wordt op typisch Nederlandse manier voorgesteld om een pilotproject uit te voeren. Onderstaande afbeelding laat zien hoe de atollen de kust vanaf Den Oever tot Medemblik gaan bepalen.



Bij alle landelijke en regionale natuur- en milieuorganisaties is dit plan ver in het verkeerde keelgat geschoten. Zoals gezegd, in dit deel van het IJsselmeer is vooral open water nodig. Het siert deze organisaties dat zij een alternatief hebben ontwikkeld: Binnendijkse achter-oevers met natuur en zonnepanelen in de Wieringermeerpolder. Zie de tekening bij de aanhef van dit artikel.

Het alternatief voorziet in zoet-zoutwaterovergangen met open verbindingen naar het achterland voor de in- en uitstroom van water, voedingsstoffen en vissen. Binnendijkse achter-oevers met natuurlijk waterpeil in de Wieringermeer tussen Den Oever en Medemblik creëren een paai- en opgroeigebied voor jonge vis en leefruimte voor vogels. Én, er is ruimte voor zonnepanelen: de eerste berekeningen laten zien dat hiermee 875 gigawattuur aan zonne-energie kan worden geproduceerd.

Figuur 13: Overzicht van de ligging van de atollen'- bron Deltares

Er moeten mij twee dingen van het hart. Het is evident dat het samengaan van de twee milieubelangen (herstel natuur IJsselmeer, opwekken schone

energie) op gespannen voet staan. Vinden van een oplossing waarbij beide samengaan, is noodzakelijk. Ik begrijp daarom zo'n provinciebestuur niet, dat aan een ingenieursbureau om één oplossing vraagt in plaats van dat het een hacketon van deskundigen organiseert om alle potentiële oplossingen voor dit probleem te inventariseren en te vergelijken. Uiteraard uitgaande van een aantal randvoorwaarden als essentiële natuurwaarden, op te wekken hoeveelheid energie en kosten. Daarna kan 'het volk' beslissen.

In de tweede plaats, lijkt het IJsselmeer opgenomen te worden in wel zeven RESsen. Friesland is al begonnen aan de aanleg van het enorme windpark Fryslân bestaande uit 89 turbines van 4,3 megawatt (MW) dat op jaarbasis 1.500 gigawattuur gaat produceren. Dit is 1,2% van het Nederlandse elektriciteitsverbruik en komt overeen met het verbruik van ongeveer 500.000 huishoudens. Het zou een uitermate voor de hand liggende oplossing zijn om tussen deze windmolens een al even gigantisch complex van drijvende zonnepanelen aan te leggen. Als de zeven provincies een taakgroep hadden ingesteld om samen naar de afweging van de verschillende milieubelangen in het IJsselmeer te bekijken, dan had een oplossing als deze wellicht komen bovendrijven.



Recycling zonnepanelen: Naar de maan en terug

Inhoud

1. de noodzaak van recycling
2. De scheiding van componenten

1. De noodzaak van recycling

Als we in 2050 alle zonnepanelen die aan het einde van hun levensduur zijn op elkaar leggen, ontstaat er een stapel tot aan de maan en terug! Met andere woorden, we moeten een oplossing vinden voor het hergebruik van miljoenen tonnen zonnepanelen.

De oplossing is vooral niet temperen van de groei van het aantal zonnepanelen, waartoe [paniekverhalen](#) die zonnepanelen afschilderen als een tikkende tijdbom, ons willen aanzetten. We zijn juist zo goed bezig: De productie van stroom met zonnepanelen groeit zoals uit dit dossier blijkt hard.

In Nederland geldt de richtlijn Afgedankt Elektrisch en Elektronisch Afval (AEEA). Dankzij deze regeling zijn [fabrikanten en importeurs samen verantwoordelijk](#) voor de registratie van geproduceerde en geïmporteerde zonnepanelen. Als het zover is, moeten ze zorgen voor goede, milieuvriendelijke verwerking ervan, wat niet automatisch hoogwaardige recycling betekent. Zij hebben daarvoor de Stichting Zonne-energie Recycling Nederland (ZRN) opgericht.

Terug naar de [afvalberg](#). Zonnepanelen vallen in Europa onder elektronisch afval. Particulieren kunnen ze daarom gratis inleveren in de wit- en bruingoedcontainer in de milieustraat. [Bedrijven](#) moeten daarbij rekening houden met kosten.

Na inzameling is vooralsnog sprake van laagwaardig hergebruik. Het glas wordt bijvoorbeeld gebruikt om glaswol van te maken en niet voor de productie van nieuw glas. Recycling van zonnepa-

nelen is overigens lastig want hun onderdelen zijn verlijmd met het oog op hun weersbestendigheid. Toch is hoogwaardige recycling volgens [prof. dr. Miro Zeman](#), hoogleraar aan de TU Delft, prima mogelijk. Er is echter nog geen sluitende businesscase.

PV Cycle heeft samen met [Veolia](#) in Frankrijk een fabriek gebouwd waar paneelglas, aluminium raamwerk, aansluitdoos, kabels en silicium van elkaar worden gescheiden. Deze materialen worden opnieuw gebruikt in de glas-, aluminium-, cement- en metaalindustrie. Dat gebeurt op een aanzienlijk meer hoogwaardige manier dan thans het geval is. Deze fabriek kan in de nabije toekomst tot 4.000 ton zonnepanelen verwerken. Zie dit [filmpje](#) van Veolia over de activiteiten van dit bedrijf op het gebied van afvalscheiding.

2. Scheiding van componenten

Het probleem zit deels in de scheiding van de (verlijmde) componenten. TNO werkt samen met enkele innovatieve Nederlandse bedrijven aan zo'n '[Design for Recycling](#)' (D4R). Dit spitst zich toe op het makkelijk kunnen scheiden van de diverse componenten. Daarvoor is een hechtfolie ontworpen om de zonnecellen in het paneel in te kapselen, waarvan de werking aan het einde van de levensperiode makkelijk te niet kan worden gedaan scheiding van de gebruikte materialen mogelijk is. Inmiddels heeft een 'proof of principle' plaatsgevonden met kleine zonnepanelen die uit vier zonnecellen bestaan. Deze werden op extreme wijze blootgesteld aan de elementen waarmee een levensduur van 30 jaar werd gesimuleerd. Het resultaat was bevredigend; probleemloze scheiding van de componenten was mogelijk. De [volgende fase](#) is deze test herhalen met behulp van 'echte' zonnepanelen.

Het is echter maar de vraag of deze methode nog nodig is tegen de tijd dat grootschalige toepassing mogelijk is. Tijdens de bespreking van innovatie in de ontwikkeling van zonnepanelen, elders in dit dossier verwees ik naar nieuwe lichtgewicht zonnecellen, waarvan de onderdelen volledig te hergebruiken zijn.



Manieren om netverzwaring te voorkomen

Inhoud

- 1 Dilemma overheid
- 2 Capaciteitsmaatregelen op de korte termijn
- 3 Netwerkmanagement

1 Dilemma overheid

De overheid zit tussen twee vuren. Aan de ene kant wil zij voldoen aan het streven om in 2030 49% minder CO₂ uit te stoten dan in 1990. Daarom wordt alles op alles gezet om meer schone energie te laten produceren: Het [Klimaatakkoord](#) beoogt dat Nederland van de schamele 18% duurzame energie nu stijgt naar 75% in 2030.

Om die reden is de salderingsregeling in het leven geroepen. Door deze regeling is de bizarre situatie ontstaan dat de overheid de aanleg van zonnepanelen financieel ondersteunt, maar er hoge kosten gemaakt moeten worden om alle terug geleverde energie via het net af te voeren. Kosten die consumenten op hun beurt weer betalen. Soms wordt wel 80% van de opgewekte energie aan het net terug geleverd. Energie die op andere tijdstippen trouwens zeer welkom zou zijn.

Tegelijkertijd raakt het elektriciteitsnet overvol. Het net is niet berekend op de vele aanbieders van zonne- en windenergie én de sterk toegenomen vraag. Denk aan elektrische auto's en data-centers.

Een minder riante regeling had mogelijk de groei van het aantal zonnepanelen vertraagd, maar tegelijkertijd het zoeken naar alternatieven voor netverzwaring gestimuleerd. Maar zowel netverzwaring als alle alternatieven daarvoor zijn er niet van vandaag op morgen.

Eind 2019 was in het bijzonder in Groningen en Drenthe sprake van acute overbelasting van het net. Er was 1673 megavoltampère transportcapaciteit beschikbaar, terwijl 230 aanvragen in de wacht stonden tot een capaciteit van 10.000 megavoltampère. Aan 1320 megavoltampère wordt inmiddels gewerkt en [TenneT](#) investeert meer dan € 1 miljard in het Noord-Nederlandse hoogspanningsnet, maar dat gaat zeker tot 2028 duren.

Op veel andere plaatsen is het verschil tussen het groeiende aanbod van zonne-energie en de capaciteit van het net minder extreem

2 Capaciteitsmaatregelen op de korte termijn

Eind 2019, aan het begin van een nieuwe ronde van de SDE+ regeling moest ingegrepen worden. Dit hield in dat er voor de aanleg van een windmolenpark, zonnepark of -dak een transportindicatie nodig is. Dat is een verklaring van een van de netbeheerders dat deze instaat voor het transport van de te leveren elektriciteit en de mogelijkheid tot terug leveren van overtollige opgewekte energie door de aangesloten huishoudens.

Overigens wordt deze maatregel soepel toegepast. Liander geeft toch transportbeschikkingen af als de indieners van plannen de realisatie afstemmen op het tempo waarop het net wordt uitgebreid. Ze kunnen dan alvast beginnen met de voorbereiding van de [subsidieaanvraag](#).

De Minister stelt dat de netbeheerders een transportindicatie alleen mogen weigeren als alle alternatieven onderzocht zijn en uiteindelijk moet de [Autoriteit Consument en Markt](#) (ACM) vaststellen of er daadwerkelijk sprake is van congestie.

De noodzaak om een transportindicatie te bemachtigen alvorens een subsidie in het kader van de SDE+ te mogen aanvragen zet uiteraard een rem op de groei van duurzame energie. Dat is zeker niet wat de Minister voor ogen staat, en anders de [Tweede Kamer](#) niet, die herhaaldelijk heeft gevraagd om te voorkomen dat nieuwe de aanleg van nieuwe eindmodel- en zonneparken stagneert. De [Minister](#) had in het Klimaatakkoord al zes maatregelen gepubliceerd om stagnatie in de groei van duurzame energie tegen te gaan en later zijn daar nog eens zes maatregelen op de korte termijn bijgekomen. Voor de lange termijn heeft de Minister er hoge verwachtingen van als netbeheerders, marktpartijen en de rijksoverheid gezamenlijk criteria ontwikkelen voor netuitbreiding. De belangrijkste maatregel op de korte termijn is laten vervallen van de noodzaak dat netten met een spanningsniveau van 110 kilovolt of hoger, reservecapaciteit moeten bewaren voor uitval situaties. Deze zogenaamde '[spitsstrook](#)' wordt vrijgegeven. Alle maatregelen samen, geven soelaas, maar bij lange na niet voldoende om de vereiste groei van duurzame energie en de capaciteit van het elektriciteitsnetwerk in de pas te laten lopen. Netwerkmanagement is een veel gehoord alternatief.

3 Netwerkmanagement

Van verschillende kanten wordt erop gewezen dat er nog legio mogelijkheden zijn om zonne-energie te gebruiken zonder netverzwaring. Het is hier waar vaak wettelijke beperkingen voor complicaties zorgen. Vandaar dat wegnemen daarvan op zo kort mogelijke termijn miljardenbesparingen kan opleveren. Tegelijkertijd vereisen sommige deze maatregelen ook regulering [‘achter de meter’](#) en dat vereist de medewerking van alle elektriciteit afnemers. Ik noem een aantal voorbeelden van netwerkmanagement.

Productie

[Liander](#) heeft een oplossing gevonden om te voorkomen dat de spanning op het net te hoog wordt. Een algoritme in de omvormer van zonnepanelen of windturbines kan de productie verminderen; een korte periode is vaak al voldoende. Daarmee kunnen zonneparken toch een transportbeschikking krijgen. Er wordt daarmee in elk geval vooruitgelopen op toekomstige oplossingen, maar ik verwacht dat dit de investeerders in zonne- en windparken ook zal aanzetten om te investeren in batterijcapaciteit, wat uiteraard een goede zaak is.

Verbruik

Grootgebruikers betalen vaak al verschillende prijzen voor elektriciteit, waarmee de leverancier het verbruik probeert af te stemmen op de omvang van het aanbod. Dit zou ook voor consumenten toegepast kunnen worden. Dankzij de ‘slimme meter’ is het mogelijk elke gebruiker minder te laten betalen in perioden dat elektriciteit overvloedig beschikbaar is en meer als elektriciteit schaars. In dit geval blijft de consument zelf de baas over het elektriciteitsgebruik.

De piekbelasting op het elektriciteitsnet kan met 40% dalen als alle elektrische auto's [flexibel worden geladen](#). In dat geval worden thuislaadpalen aangestuurd door een signaal van de netbeheerder en kan het laadproces worden vertraagd. Deze vertraging kan overigens handmatig worden opgeheven door de gebruiker. Beïnvloeding van apparaten achter het net kan nog veel verder gaan waarbij in de eerste plaats gedacht wordt aan boilers. Het zou veel schelen als boilers, stroom van het net te betrekken op momenten dat er ruim voldoende stroom voorradig is.

Stroom opslag

Stroom terug leveren aan het elektriciteitsnet gaat steeds meer kosten. Wat ligt er dan meer voor de hand om overtollige (tijdelijk) overtollige stroom tijdelijk op te slaan. Dat wordt steeds makkelijker, nu batterijen steeds goedkoper worden. In deze gevallen creëren gebruikers, doorgaans samen met de netbeheerder, een microgrid. Het is een relatief zelfstandig onderdeel van het elektriciteitsnet waarin veel gebruikers ook producent van elektriciteit zijn.

Bij appartementencomplex in Castricum zijn batterijen geplaatst en nu wordt nog maar 35% van de stroom terug geleverd en in totaal €4000 jaarlijks bespaard op de servicekosten. Daarvoor werd 80% van de stroom terug geleverd!

Op stroomopslag kom ik nog uitvoerig terug.

Afstemmen en delen stroomverbruik

De aluminiumproducent Aldel in Farmsum zal voor 20 MegaWatt aan zonnepanelen op en naast de fabriek geplaatst worden. Samen met Ecorus, het bedrijf dat de zonnepanelen heeft geplaatst is een volgende stap gezet, de aanlig van een minigrid. Daarop konden twee nieuwe zonneparken worden gerealiseerd die vooralsnog geen transportvergunning hadden gekregen. Aldel alleen al heeft 200 MegaWatt aan electriciteit nodig per jaar. In feite is Aldel een virtuele batterij: Bij een overschot aan wind en zonne-energie kan Aldel die goed gebruiken. Bij een tekort kan de fabriek het eigen gebruik voor korte duur op laag pitje zetten. De volgende stap is dat meer bedrijven in de buurt op het microgrid worden aangesloten.

Overigens moesten om dit te realiseren [tal van problemen](#) opgelost en ook de Autoriteit Consument en Markt moet het project nog goedkeuren omdat de grenzen tussen een industrieel en een open maar net vervagen.

Een vergelijkbare opstelling wordt uitgewerkt in de Amsterdamse haven. Hier probeert [Shared Energy Platform](#) (SEP) het gebruik van energie door alle grootgebruikers samen af te stemmen. Uiteraard weet de elektriciteitsmaatschappij hoeveel stroom elke grootverbruiker afneemt, maar wanneer dit gebeurt is onbekend, nog afgezien van het feit dat een aantal gebruikers een deel van de stroom zelf produceert en behoefte kan hebben om een deel van zelfgeproduceerde stroom door te verkopen. SEP wil dit proces transparant maken met als uiteindelijke doelstelling dat iedereen op elk moment de goedkoopst mogelijke elektriciteit gebruikt en er een gelijkmatige onttrekking van elektriciteit is aan het net waarbij piekbelasting wordt voorkomen.



Smart grids: waar techniek, digitale en sociale innovatie samenkomen

Inhoud

- 1 Van een gecentraliseerde naar gedecentraliseerde elektriciteitsvoorziening
- 2 Minigrids en microgrids
- 3 De virtuele energiecentrale
- 4 De waarde van blockchain

1 Van gecentraliseerde naar gedecentraliseerde elektriciteitsvoorziening

De dreigende overbelasting van het elektriciteitsnet komt in dit dossier verschillende keren ter sprake en ook wat eraan te doen valt. Er zijn drie manieren om dit probleem op te lossen. De eerste is vergroting van de capaciteit van het net. De tweede grootschalige opslag van elektriciteit, zowel voor de korte als de lange termijn. De derde is netwerkmanagement. Over de laatste manier gaat deze blogpost en wel in het bijzonder over een van de vormen daarvan, de aanleg van smart grids. Dit heeft meer met digitalisering te maken dan met de aanleg van extra kabels. Een smart grid is een energiesysteem waarbij PV-panelen, elektrische auto's, warmtepompen, huishoudelijke apparaten, groot maar ook kleinschalige opslagsystemen en onderstations op intelligente wijze met elkaar zijn verbonden.

De elektriciteitsinfrastructuur is overal ter wereld ontworpen voor gecentraliseerde elektriciteitsopwekking, gekenmerkt door eenrichtingsverkeer van producent naar consument. Nu veel consumenten ook producent ('prosumenten') zijn geworden en naast de gebruikelijke energiecentrales er op veel plaatsen zonneweiden en windparken ontstaan, moet de netwerkstructuur van de toekomst gedecentraliseerd zijn. Zij zal uit twee of drie niveaus bestaan. Samen zullen deze zorgen voor een stabiel systeem, waarin veel meer elektriciteit omgaat dan tegenwoordig. Deze nieuwe structuur is volop in ontwikkeling. In 2016 werd wereldwijd ongeveer \$ 47 miljard besteed aan infrastructuur en software om het elektriciteitssysteem flexibeler te maken, hernieuwbare energie te integreren en klanten beter te bedienen. Een overzichtswerk van deze ontwikkelingen is *Promoting Digital Innovations to Advance Clean Energy System* (2018). Dit [boek](#) kan gratis worden gedownload.

2 Minigrids en microgrids

Prosumenten leveren meer dan de helft van de opgewekte elektriciteit terug aan het hoofdnet. Eigen opslagcapaciteit is een deel van de oplossing; hierdoor ontstaat een minigrid dat de noodzaak om terug te leveren aanzienlijk vermindert. Maar er zijn tijden dat het hoofdnet juist is gebaat met terug levering van lokaal opgewekte stroom. Een volgende stap is daarom dat hoofdnet en mini-netten met elkaar communiceren. We spreken dan van een smart grid. Het beheer van de productie van energie in grootschalige krachtcentrales (inclusief wind- en zonneparken) zal dan plaatsvinden in samenhang met de regulering van de in- en uitstroom van elektriciteit van het hoofdnet naar de mini-netten. Dat kan ook inhouden dat er signalen worden gegeven aan huishoudens om batterijen te laden of te ontladen, de boiler aan te zetten, het opladen van de auto even uit te stellen of om de productie van energie te stoppen, al naar gelang de hoeveelheid stroom die op het hoofdnet beschikbaar is. Een geautomatiseerd monitoring- en controlesysteem is hiervoor noodzakelijk.

De uitwisseling van gegevens tussen mininetten en hoofdnet heeft veel privacyaspecten, vooral als de netbeheerder invloed krijgt op wat zich 'achter de meter' afspeelt. Een tussenlaag tussen hoofd- en mini-netten biedt dan uitkomst. We spreken dan van een microgrid. Tussen hoofdnet en micronet zit een soort schakelaar, waarmee het microgrid bij een storing zelfs tijdelijk [autonoom kan functioneren](#).

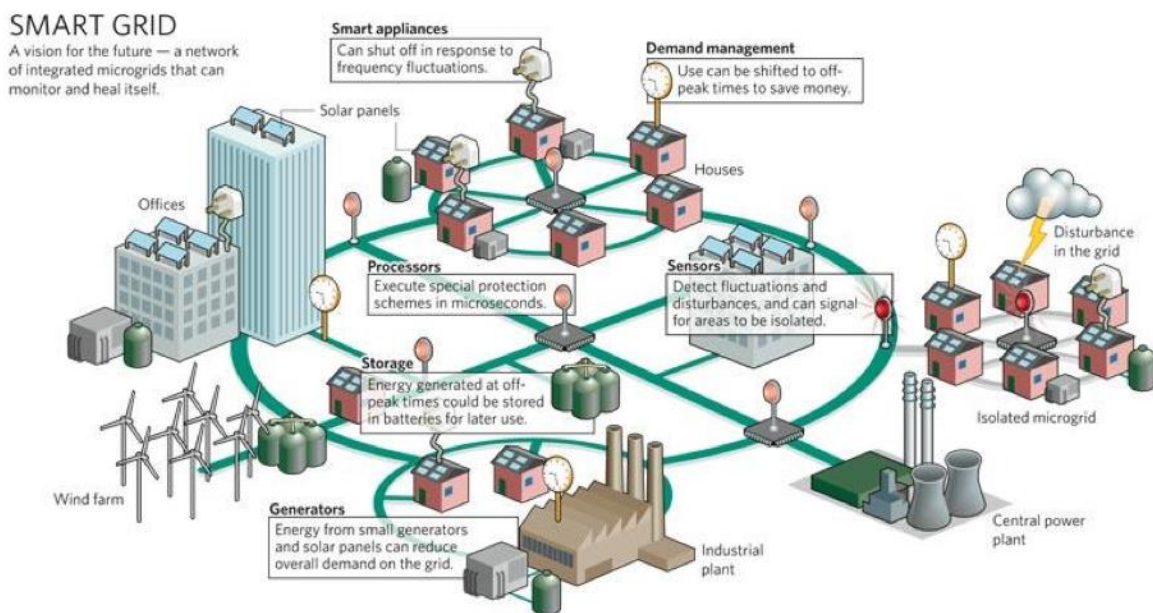
Een microgrid bevat [drie elementen](#):

1. Installatie(s) voor lokale energieproductie ten behoeve van meer dan een gebruiker (doorgaans een buurt): zonnepanelen, windmolens, warmtekrachtkoppeling, warmtepomp(en), biomassacentrale, waterkrachtturbine en eventueel een noodproductiesysteem (generator).
2. Een opslagsysteem: thuis- en buurtbatterijen en in de toekomst ook supercondensators en chemische latente warmteopslag.
3. Een digitaal beheerssysteem om het evenwicht tussen de productie van en de vraag naar elektriciteit te garanderen, te bepalen hoeveel energie van het hoofdnet wordt betrokken of daaraan wordt terug geleverd en dat de kosten en baten per huishouden berekent.

In een microgrid kunnen huishoudens hun overschotten en tekorten aan stroom onderling uitwisselen zonder directe tussenkomst van de netbeheerder of de elektriciteitsproducenten. Deze hebben uitsluitend te maken met de overschotten en tekorten van het hele microgrid, waarmee de

noodzaak om te interfereren in de mini-netten van individuele huishoudens vervalt. Dankzij het feit dat stroomproductie en -consumptie real-time wordt gevolgd, kan de prijs van de elektriciteit van minuut tot minuut worden vastgesteld. De huishoudens die onderdeel zijn van het microgrid kunnen bijvoorbeeld afspreken om zo veel mogelijk stroom in te kopen als de prijs laag is, omdat het hoofdnet tegen overcapaciteit aanloopt. Op zulke momenten kunnen thuisbatterijen, elektrische auto's, de eventuele buurtbatterij en boilers en warmwatervaten worden opgeladen en opgewarmd. Dit kan volledig geautomatiseerd worden uitgevoerd. Bijvoorbeeld door de Powermatcher, een door [TNO](#) ontwikkelde open source toepassing, waarmee inmiddels 1000 mensen in Nederland werken. Deze [video](#) illustreert dit.

Een microgrid krijgt extra waarde als de gebruikers een energiecoöperatie vormen. Hier kan beslist worden over de algoritmes die de circulatie van de stroom in het microgrid reguleren. Een coöperatie kan voorts zorgen voor beheer en onderhoud van de zonnepanelen van overige collectieve voorzieningen als een buurtbatterij, lokale energiebronnen (wind- of zonnepark of aardwarmte). Ook is de coöperatie een goed middel om te onderhandelen met de netwerkbeheerder en de energiemaatschappij.



Smart grid: Afbeelding: Phoenix Contact

3 De virtuele energiecentrale

Door op wijkniveau warmtepomptechniek, energieopwekking en energieopslag aan elkaar te knopen, kan een flinke slag worden gemaakt met de energietransitie. Hier volgt een aantal voorbeelden.

De Amsterdamse virtuele energiecentrale

Een bijna klassiek voorbeeld van een microgrid is de Amsterdamse virtuele energiecentrale. Bij dit project waren 50 huishoudens betrokken, Alliander (elektriciteitsmaatschappij), Energy Exchange

Enablers (EXE) en Greenspread. Het project is een logisch vervolg op het feit dat steeds meer mensen energie opwekken met behulp van zonnepanelen en het deel dat ze niet gebruiken doorleveren aan het elektriciteitsnet. Hieraan zijn twee nieuwe elementen toegevoegd.

- In de eerste plaats is in elke woning een batterij is geplaatst waarin de niet-gebruikte elektriciteit kan worden opgeslagen.
- In de tweede plaats worden de betrokken woningen samen gezien als een online platform dat de productie en het verbruik van zonne-energie bundelt. Nieuw is dat deze bundeling de handel in opgeslagen energie mogelijk maakt.

Wanneer de prijs laag is sparen de bewoners hun stroom op of kopen ze extra stroom in van het net. Wanneer de prijs hoog is wordt deze verkocht aan Alliander. Deze [korte video](#) gaat dieper in op enkele technische details.

Het (proef)project moet een antwoord geven op verschillende vragen, met name het verschil in prijsniveau groot genoeg is om de 'handel' in elektriciteit te rechtvaardigen en ook of lokale batterijen een geschikt middel zijn om het stroomnet tijdens piekperioden te ontlasten.

Later heeft Alliander dit [experiment](#) in Heerhugowaard met veel succes herhaald.

Future Living Berlin

Dit is een mooi kleinschalig praktijkvoorbeeld dat is ontwikkeld door [Panasonic](#). Future Living Berlin bestaat uit een wijkje met appartementengebouwen voor in totaal 90 huishoudens (Zie titelfoto). De woongebouwen zijn voorzien van 600 zonnepanelen die samen met een collectief batterijsysteem zorgen voor een constante stroom duurzame energie. Ook ten behoeve van de zeventien centrale lucht/water-warmtepompen, waarvan er twee tot vijf per woongebouw in cascade staan opgesteld en die voor ruimteverwarming en warm tapwater zorgen. De deelauto's en gezamenlijke wasmachines, zijn goed voor het milieu en ze bevorderen ook burenccontact. Internet of Things speelt ook een rol bij de aansturing van de warmtepompen. Via een cloudplatform houden installateurs op afstand toegang tot deze systemen.

Tesla's virtuele energiecentrale

Tesla heeft in [Australië](#) ook een virtuele energiecentrale gebouwd, maar dan voor 50.000 huishoudens. Elk huishouden heeft zonnepanelen, met een vermogen van 5 kilowatt en een Tesla Powerwall batterij van 13,5 kilowattuur. De centrale heeft hierdoor een vermogen van 250 megawatt en een opslagcapaciteit van 675 megawattuur. Ook hier laadt elk huishouden de accu en eventueel de auto vol met zelf opgewekte energie en met goedkope energie als het aanbod groot is en ze leveren de energie die over is aan de elektriciteitsmaatschappijen tegen de marktprijs. De deelnemers besparen op deze wijze 20% van de jaarlijkse energiekosten.

De ultieme stap: autonomie

Ook bedrijven die zonnepanelen willen gebruiken en het overschot aan energie aan het net willen terug leveren lopen steeds vaker tegen de capaciteitsbeperkingen van het hoofdnet aan. Het gevolg is dat steeds meer bedrijven hun stroomvoorziening in eigen hand nemen en daarbij zelfs geheel afzien van een koppeling aan het net. Er inmiddels commerciële oplossingen voor lokale virtual power grids beschikbaar, waarvoor onder andere bedrijven als [Alfen](#) en [Joulz](#) tekenen. Een van de opties is Energy-as-a-service, waarbij de zakelijke klant niet investeert in een installatie, maar een vast bedrag per maand betaalt.

4 De waarde van blockchain

Blockchain maakt het mogelijk om de uitwisseling van energieoverschotten tussen prosumenten zonder menselijke tussenkomst uit te voeren. In Brooklyn is daartoe [Brooklyn Microgrid](#) opgericht, een 'benefit corporation', waarbij elke inwoner die over zonnepanelen beschikt zich kan aansluiten en energie direct, dus zonder tussenkomst van de elektriciteitsmaatschappij kan kopen van of verkopen aan een andere gebruiker.

Blockchain zorgt dan voor een veilig, transparant en decentraal grootboek (ledger) van alle energieproductie- en -verbruiksgegevens en transacties op basis van 'smart contracts'. Dit zijn zelfuitvoerende programma's, die de uitwisseling van waarde (hier de hoeveelheid elektriciteit) automatiseren op basis van bilateraal overeengekomen voorwaarden. Ook thuis- en buurtaccu's, individuele en collectieve warmte pompen en oplaadpalen voor auto's kunnen op dit systeem worden aangesloten.

Een vergelijkbare pilot met blockchain vindt plaats in het Zuid Duitse plaatsje [Wilpoldsried](#). Projectpartners Siemens, netbeheerder AllgäuNetz, Kempten University of Applied Sciences en het Fraunhofer Institute for Applied Information Technology (FIT) hebben samen het platform en de app ontwikkeld, rekening houdend met de gegeven belastbaarheid van het net.



1

Samen met een paar buren en de buurtbegeleider regel je een mooi aanbod voor zonnepanelen of isolatie. Voor jezelf en alle buren die mee willen doen.



2

Buurkracht helpt je met het informeren van je hele buurt. Zodat alle buren kunnen meeprofiteren van jullie zonnige aanbod.



3

Alle buren die meedoen krijgen een eigen offerte op basis van de groepsaanbieding. Tekenen en klaar! De isolatie of zonnepanelen worden geplaatst.

Samenwerken in een energiecoöperatie

Inhoud

1. Samenwerken geeft energie
2. Professionele ondersteuning
3. Wijkniveau: Nederlandse voorbeelden
4. Feldheim: een energie-autarkisch dorp
5. ReGen Villages: Totale autarkie

1 Samenwerken geeft energie

Als het om investeringen in schone energie gaat, is de overheid is sterk gericht op beslissingen van individuele bedrijven en burgers. Het gevolg is dat de aandacht vrijwel uitsluitend uitgaat naar de aanschaf van zonnepanelen. In plaats daarvan moeten overheden meer werk maken van het stimuleren van energiecoöperaties. Dit gebeurt nog veel te weinig. Als gemeente, energiebedrijf, netbeheerder en bewoners samenwerken, dan kan het resultaat zijn dat er naast zonnepanelen ook individuele en collectieve opslagcapaciteit, verwarming en warmwatervoorziening, alsmede flexibele energieprijzen tot stand komen. Bovendien gaan [bewoners veel bewuster](#) om met energie en wordt de [cohesie binnen de wijk versterkt](#).

Samenwerken kan leiden tot een aanzienlijke kostenbesparing, maar opent ook de weg naar alternatieven die anders onbereikbaar zijn. Bijvoorbeeld het gebruik van aardwarmte om je huis te verwarmen.

Het [filmpje](#) geeft een beeld van wat een energiecoöperatie zoal inhoudt en laat je kennismaken met energiecoöperatie Zuiderlicht in Amsterdam.

Professor Tine de Jong (Universiteit Utrecht) verwacht een snelle toename van het aantal burgerinitiatieven, zoals [energiecoöperaties](#). Veel burgers ervaren een grote afstand tot de overheid, die

bovendien steeds meer taken afstoot en daar commerciële partijen voor zoekt. Een burgerinitiatief is dan vaak een veel goedkopere oplossing. Bovendien brengt zij burgers bijeen, ook als het om de exploitatie gaat. Vaak blijkt dat coöperaties die met één doel zijn opgericht, bijvoorbeeld de opwekking van energie, geleidelijk ook andere taken op zich nemen, bijvoorbeeld in de zorg.

2 Professionele ondersteuning

De mogelijkheden om samen te werken zijn legio, maar [Buurkracht](#) maakt het wel heel eenvoudig. Buurkracht is een 'benefit company' ondersteund door Enexis en diverse overheden. De organisatie helpt je om samen met buurtgenoten, bedrijven inbegrepen, de energietransitie voor te bereiden. Ze helpt je ook bij het bijeenbrengen van zo veel mogelijk geïnteresseerden. Als er in de buurt een paar bedrijven staan, dan levert dat al snel een veel groter oppervlak aan zonnepanelen op dan op particuliere daken mogelijk is. Ook ontstaan er interessante mogelijkheden voor energieopslag en het verhandelen van energie.

De volgende stap is de vorming van een energiecoöperatie, waar Buurkracht ook alles van weet. Zodra er een handvol omwonenden interesse heeft om 'samen iets te gaan doen met energie', loont het om met Buurkracht in gesprek te gaan.

Wie zich verder wil verdiepen, bijvoorbeeld om beter voorbereid het gesprek met Buurkracht in te gaan, kan gebruik maken van een [online leermodule](#), ontwikkeld door *HIER opgewekt*. Je doorloopt daarin alle stappen voor het realiseren van een collectief zonproject. Het is eveneens zinvol om je in een vroeg stadium te oriënteren op de zogenaamde postcoderoos regeling. Leden van een energiecoöperatie kunnen [vrijstelling](#) krijgen van betaling van de energieheffing en van btw

3 Wijkniveau: Voorbeelden in Nederland

De website van *HIER opgewekt* biedt talrijke [voorbeelden](#) van inmiddels gerealiseerde en nog lopende projecten. Boeiend is om de ontwikkeling van sommige projecten op de voet te volgen, bijvoorbeeld de [Benedenbuurt in Wageningen](#). Inmiddels is dit initiatief in een stroomversnelling gekomen en de aanleg van een warmtenet start zeer binnenkort. De warmte wordt uit de bodem gehaald met behulp van een hoog-temperatuur warmtepomp. Als het erg koud wordt, zorgt een collectieve gasketel voor bijverwarming. Deze oplossing leidt al onmiddellijk tot een CO₂-verlaging van 50%. In de woningen zijn op korte termijn geen aanpassingen nodig. De komende 15 jaar zal gewerkt worden aan verbetering van de isolatie, zodat de wijk geen gas meer nodig heeft.

Een ander indrukwekkend voorbeeld is de recente opening van een zonnepark nabij Heeten, een initiatief van de coöperatie [Endona](#). Op 3,5 ha staan 7.752 zonnepanelen, die stroom opwekken voor inwoners en bedrijven. *Endona* gaat zich de komende jaren inzetten om de CO₂-uitstoot van Heeten tot nul te reduceren. Voor de daartoe noodzakelijke energieopslag oriënteert men zich op opslag in zeezoutbatterijen. Hiermee loopt al een experiment.

4 Feldheim: Een energie-autarkisch dorp

De kleine gemeente Feldheim in het Zuidwesten van Brandenburg (D) is volledig energie-autarkisch. Deze gemeente is in drie opzichten een interessant voorbeeld:

- In de eerste plaats ter illustratie van het belang van enkele ‘trekkers’ en van de betrokkenheid van de lokale bevolking.
- In de tweede plaats omdat het resultaat niets met ‘geitenwollen sokken’ heeft te maken, maar alles met de portemonnee.
- In de derde plaats hoe de lokale economie dankzij de focus op duurzame energie is opgebloeid.

Ontwikkeling

Het begon in 1993 met één persoon, Michael Raschemann, student en geïnteresseerd in windenergie. De ligging van Feldheim op een klein plateau leek hem zeer geschikt voor de productie van windenergie. Hij kwam in gesprek met de toenmalige burgemeester, Iris Schmidt. Samen besloten ze in gesprek te gaan met de inwoners, die wel oren hadden naar het plan. Al twee jaar later draaiden de eerste vier windmolens, elk met een vermogen van 1 megawatt.

Een [filmpje](#) geeft een beeld van de ontwikkeling van Feldheim als energie-autarkische gemeente

Energievoorziening stond inmiddels hoog op de lokale agenda. Daarom begonnen de bewoners, vooral boeren, na te denken over de bouw van een biogasinstallatie om het hele dorp van warm water te voorzien. Een aanzienlijk deel van de vereiste energie komt van een lokale varkenshouderij. Als het erg koud is wordt ook [houtafval](#) uit de omliggende bossen verstoekt.

De aanleg van het elektriciteitsnetwerk was een schijntje in vergelijking met de 1,7 miljoen euro die het warmtenet kostte. Dat konden de inwoners van Feldheim financieren doordat de Europese Unie en de deelstaat Brandenburg de helft van het benodigde geld subsidieerden. De lokale landbouwcoöperatie heeft de rest van het geld geïnvesteerd.

Inmiddels is er op het grondgebied van Feldheim ook een windpark gerealiseerd. Dit draagt uiteraard bij aan de stabiliteit van de elektriciteitsvoorziening. Het aantal [windmolens](#) is geleidelijk uitgebreid tot 55, waaronder een aantal met een hoogte van 150 m. en een capaciteit van 9 megawatt. Zij zijn het eigendom van energiebedrijf *Energie Quelle*, waarvan de lokale coöperatie *Feldheim Energie GmbH* de elektriciteit koopt

In 2015 werd een volgende mijlpaal bereikt, de in werking stelling van het *Regionale Regelkraftwerk Feldheim*, toen nog de grootste verzameling van Li-ion batterijen in Europa. Daarmee is er niet alleen een enorme opslagcapaciteit voor energie gerealiseerd, maar kan ook de netstabiliteit worden gewaarborgd.

De nieuwe bedrijvigheid rond het windpark en later ook een fabriek voor componenten van zonnestroominstallaties binnen de dorpsgrenzen brachten nieuwe economische activiteit en volledige werkgelegenheid.



Figuur 14 Impressies van het energiegebied van Feldheim

Bewonersparticipatie

Het energiebedrijf is de bewoners van Feldheim bij de ontwikkeling van het windpark blijven betrekken en dat heeft een belangrijke bijdrage aan de acceptatie ervan geleverd, ook nu de verre omgeving van de opgewekte energie profiteert.

De lokale coöperatie heeft flinke tegenwerking door de Duitse energiegigant E.ON moeten verdueren, de eigenaar van het lokale energienet. Deze weigerde dit net aan het dorp te verhuren of te verkopen. De gemeenteraad besloot toen maar een eigen net aan te leggen. Dit werd een *smart grid* en het is vanaf oktober 2010 operationeel. De inwoners hebben hieraan ieder 3000 euro bijgedragen in ruil voor goedkope stroom.

Het duurzame succes van Feldheim is mogelijk geworden vanwege de massale steun vanuit de bevolking. Het motief daarvoor bij de bewoners kan met één woord worden samengevat: *geld*. Idealisme speelde slechts een beperkte rol. De bewoners van Feldheim zijn niet groener of roder dan de rest van de Duitsers. De eerste stap, voorzien in de eigen elektriciteitsbehoefte, was gewoon goedkoper dan de bestaande netaansluiting gebruiken. Dit was een oogopener en van het een kwam het ander.

Uiteraard heeft Feldheim door zijn voorhoede depositie kunnen profiteren van beschikbare subsidies. Daar staat tegenover dat vanwege deze positie er ook extra kosten zijn gemaakt, bijvoorbeeld de aanleg van een nieuw elektriciteitsnet, terwijl er al een was.

Het voorbeeld toont aan dat eenvoudig rekenen én verstandig gebruik van de beschikbare subsidies autarkie op het gebied van warmte en energie erg aantrekkelijk maakt. Uiteindelijk is de wel-

vaart van het dorp toegenomen en is dorpsgemeenschap verrijkt en versterkt. Vandaag de dag komen jaarlijks duizenden bezoekers uit de hele wereld naar het onlangs geopende bezoekerscentrum, het *Neue Energien Forum Feldheim*.

Wat Feldheim bijzonder maakt is dat de bewoners zelf de energie-autarkie van hun dorp hebben gerealiseerd.

5 ReGen Villages: Totale autarkie

[ReGen Villages](#) is een organisatie die wereldwijd leefvormen ontwikkelt die een antwoord geven op uitdagingen van het milieu. De naam ReGen komt van het woord regeneratief. Het achterliggende idee is om mensen *off-grid* te laten wonen en bewoners op deze wijze zelfredzaam te maken.

Het concept van de *ReGen eco-dorpen* werd in 2016 gepresenteerd tijdens de Biennale van Venetië door James Ehrlich. Hij sprak van de [Tesla of eco-villages](#). Hij dacht aan kleinschalige leefgemeenschappen waar innovatieve middelen worden gebruikt als tegenwicht voor de verstedelijking. In een interview zei hij: *Alle woningen worden energie positief, er komt een biologische voedselproductie en verticale landbouw met [aqua- en aeroponics](#) en een waste to resource systeem. Mensen halen de energie, het water en – deels - het voedsel uit hun eigen huis en tuin. Zo kunnen ze elektrische auto's delen en opladen, er komt een biogasinstallatie die niet-composteerbaar huishoudelijk afval in energie en water omzet en er komt een opslagsysteem voor [\(regen\)water](#) voor de tuin en als basis voor drinkwater.*



Figuur 15: Impressie van het Nederlandse ReGen dorp

Een korte [video](#) bevat een korte presentatie door James Ehrlich over het concept *high-tech eco villages*.

Het eerste *ReGen Village* ter wereld zal worden gebouwd in het gebied Oosterwold nabij Almere. Er komen 194 huizen op een beperkt oppervlak van 1,5 ha. Het dorp wordt geheel autarkisch. Niet alleen op het vlak van energie, zoals in Feldheim, waaraan mijn vorige blogpost was gewijd. Ook op het gebied van voeding en drinkwatervoorziening. In Feldheim waren idealistische overwegingen ondergeschikt aan de financiële voordelen die zijn verbonden aan het zelf winnen van energie. In *ReGen Village* speelt idealisme, een focus op gezonde voeding, beperking energieverbruik, minimaliseren van globale supply-chains, zelfontplooiing maar ook affiniteit met innovatie en high-tech een cruciale rol.

Alle bewoners van *ReGen Village* worden geacht bij te dragen aan de teelt van gewassen en het houden van dieren. Wie naar Almere of naar Amsterdam wil, gebruikt de [eigen busdienst](#) en in de toekomst een elektrische (deel)auto.

Direct na de presentatie van de plannen gaven zich 3100 gezinnen op om de eerste bewoners van *ReGen Village* te worden. Het was het begin van een lange periode van voorbereiding. De lokale autoriteiten staan positief ten opzichte van het initiatief, maar bestaande wetten werken tegen. Zo mogen er geen grote kassen worden gebouwd, omdat het bestemmingsplan geen tuinbouw toestaat. Volgens Ehrlich is de aanwijzing van regelluwe zones de enige oplossing voor dit soort problemen.

De prijzen van de huizen, die er alle uitzien als kassen zullen variëren van enkele tonnen tot een klein miljoen euro. Er zullen ook enkele vrije sector huurwoningen worden gebouwd.



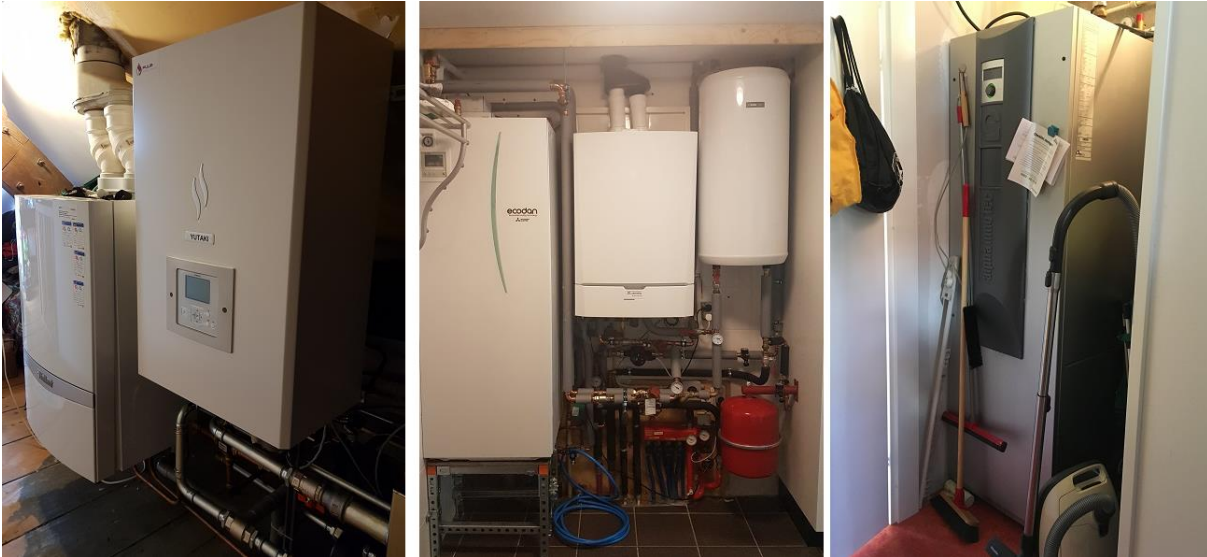
Duurzaam maken van je woning. Voor jezelf en de aarde

Inhoud

1. Van het gas af: NU (meer dan ooit)
2. Vermindering energiegebruik in huizen uit de periode 1920 – 1940
3. Subsidies en leningen
4. Zonnepanelen op huurwoningen
5. Zonnepanelen op corporatiebezit

1. Van het gas af: nu meer dan ooit

Wie woont in een huis dat gebouwd is na 2000 heeft weinig redenen om te wachten met van het gas afgaan en een warmtepomp aan te schaffen. De website hierverwarmt.nl geeft hierover uitstekende informatie. Zo'n huis is goed geïsoleerd en heeft meestal vloerverwarming. Dit zijn twee heel belangrijke voorwaarden voor een warmtepomp. Wel zou ik ervoor zorgen dat het dak vol ligt met zonnepanelen, dan gebruikt de warmtepomp tenminste groene stroom. Want stroom gebruiken daar is een warmtepomp goed in, vooral in de winter als het erg koud is. Dit is voor sommigen de reden om een hybride warmtepomp aan te schaffen; die gebruikt dan de cv-ketel om bij te springen.



Van links naar rechts: de opstellingen van een luchtwarmtepomp, een hybride warmtepomp en een waterwarmtepomp. Bron: hierverwarmt.nl

Je kunt voor deze optie kiezen als je nog een goede cv-ketel hebt. Maar een nieuwe kopen zou ik niet doen. Sommige leveranciers van warmtepompen leveren modulaire oplossingen. Te zijner tijd kun je de Cv-module dan gewoon weglaten. Maar waarom zou je? Je huis is in de meeste gevallen klaar om van het gas af te gaan. Op gas koken? Een inductieplaat is een perfect alternatief.

Ga niet over een nacht ijs. Warmtepompen zijn nog volop in ontwikkeling. Ze worden steeds geluidsarmer en hun energiegebruik daalt door het gebruik van andere typen koelvloeistoffen.

[Economisten van de ING](#) hebben berekend (zie onderstaand overzicht) dat een warmtepomp nu en ook nog in 2030 een negatief rendement heeft. Om deze berekeningen te maken wordt een groot aantal hoogst aannames gehanteerd, iets wat economen altijd doen.

Rendement van investering in duurzame woning

Bedragen: netto contante waarde van de investering

Maatregel	2019	2030
Zonnepanelen	€5.900	€6.600
Goede woningsolatie	€4.100	€7.100
Hybride warmtepomp	€-400	€3.000
Aansluiting op warmtenet	€-750	€-350
Elektrische warmtepomp	€-9.000	€-5.400

(Bron ING)

Ik erger me aan dit soort berekeningen. Afgezien van deze aannames, miskennen deze berekeningen ook dat veel mensen een goed gevoel hebben bij de gedachte dat de CO₂ uitstoot van hun

huis jaarlijks vermindert. Bovendien weet niemand wanneer (en of) de levering van gas stopt of dat de prijs van gas door een extra CO₂-heffing verder stijgt om gasklevers te ontmoedigen.

Rob Snoeks uit Utrecht verwarmt zijn jarendertighuis (warmte-technisch iets heel anders dan een woning van na 2000) met een warmtepomp. Hij schrijft daarover in [Trouw \(12 november 2019\)](#): *Kies niet voor zo'n pomp om de centen, maar voor het klimaat, de kleinkinderen, de techniek, de uitdaging of gewoon omdat het leuk is.*

Uit [berekeningen van economen](#) blijkt dat je de investering in een warmtepomp niet terugverdient. Ze maken daarbij allerlei aannames, bijvoorbeeld over de prijsontwikkeling van gas en elektriciteit. Daar zijn het economen voor. Ze miskennen echter dat voor veel mensen de winst zit in de vermindering van de uitstoot van CO₂. Helaas wordt de CO₂-uitstoot niet in rekening gebracht en dan telt deze (voor economen) dus niet mee.

Uiteraard konden de economen geen rekening houden met de enorme prijsstijging van aardgas vanaf begin 2022 en zelfs de mogelijke schaarste ervan. Hierdoor zijn alle maatregelen die particulieren, bedrijven en overheid kunnen nemen om zo snel mogelijk van het gas af te geraken van de hoogste prioriteit, al blijft voor mij de waarde daarvan toch in de eerste plaats zitten in die voor het milieu.

De vraag blijft, [hoeveel bedraagt de 'winst'](#) in niet-uitgestoten CO₂ als je een warmtepomp aanschaft voor verwarming en warm tapwater.

De warmtepomp

Ook hier komen we niet om drie aannamen heen: Een gemiddelde eengezinswoning, een warmtepomp die buitenlucht gebruikt en 'grijze' stroom van het net. Ongeveer 80% van de Nederlandse stroom is geproduceerd met kolen, gas en (een beetje) kernenergie. Dit percentage daalt overigens met het jaar.

De luchtwarmtepomp van ons gemiddelde huis gebruikt 3000 kWh en bij de productie van een kWh 'grijze stroom' komt 0,556 kg CO₂ vrij. Totaal is dat dus 1.668 kg. per jaar

De aardgasketel

Onze gemiddelde eengezinswoning gebruikt 1050 m³ aardgas. Een m³ aardgas levert 35 megajoule energie. Het totale verbruik is dus 36.750 megajoule of ongeveer 37 gigajoule. De emissie van aardgas is al jaren constant, namelijk 56.7 kg per gigajoule. Dus verdwijnt er 2.098 kg CO₂ in de lucht.

Wie een berekening in joules maar lastig vindt, kan de vuistregel hanteren dat een m³ Nederlands aardgas ongeveer gelijk staat aan 8 kWh.

Een gemiddelde eengezinswoning met een combi-ketel stoot dus 1,3 keer zoveel CO₂ uit als een vergelijkbare woning met een warmtepomp. Door de aannames te veranderen kan dit resultaat ook veranderen. Het beste is daarom een berekening voor je eigen woning te (laten) maken.

Hoe dan ook, dit [verschil wordt met het jaar groter](#) omdat de grijze stroom steeds groener wordt. In 2030 is naar verwachting 70% van de energiemix 'groen' in plaats van 20% nu. Wie overigens 10

extra zonnepanelen op het dak legt, weet al zeker dat de warmtepomp voor 100% met groene energie wordt gevoed en dat de emissie 0 is.

2. Vermindering energieverbruik in huizen uit de periode 1920 – 1940

Woningen gebouwd tussen beide wereldoorlogen zijn uitermate populair. Maar met hun hoge ruimten, enkel glas, totaal gebrek aan isolatie zijn het tevens **grote energieverbruikers**. Desondanks hebben deze huizen een hoge (verkoop)waarde. De emotionele waarde voor hun bewoners nog groter. Veel bewoners zijn dan ook op zoek naar **mogelijkheden om het energieverbruik te beperken** en daarmee ook de CO₂-uitstoot. De berekening van het rendement van investeringen in het duurzaam maken van dit soort huizen berust op vele aannames: prijsontwikkeling van fossiele brandstoffen, de (bijkomende) kosten van isolatie en het effect op de waarde van het huis. Verstandiger is daarom wonen in een energieneutraal huis als een waarde voor de wereld en voor jezelf te beschouwen en uit te gaan van wat je te besteden hebt.



Woningen uit jaren '30 te Utrecht. Foto: [In de buurt.nl](https://www.indebuurt.nl)

Plan A

Probleem bij veel activiteiten om huizen te verduurzamen is dat iedereen zijn eigen plan trekt, terwijl in een buurt en zelfs straat veel mensen met vergelijkbare gedachten rondlopen. In plan A zoek je deze mensen op of zij weten jou te vinden. In het meest ideale geval besluiten alle eigenaren een aaneengesloten rij huizen of een blok samen een plan te maken. Het is dan verreweg het beste en naar verhouding het goedkoopste om alle noodzakelijke verbeteringen in een keer uit te voeren, desnoods huis voor huis en voor dit project samen subsidies aan te vragen en een bank te zoeken die de beste financieringsmogelijkheden biedt.

Plan A zal (in volgorde van prioriteit) omvatten:

1. Dakisolatie. Omdat het om een reeks huizen gaat zal de welstandscommissie er geen problemen mee hebben om het hele dak aan te pakken.
2. Zonnepanelen. Hierbij is zeer aan te bevelen in het dak geïntegreerde panelen te kiezen en wel zo veel mogelijk en tevens te voorzien in een vorm van buurtopslag.
3. Vloerverwarming in het hele huis
4. Isolatie van de spouwmuren of anders een isolerende laag aan de binnenkant. Een extra laag aan de buitenkant krijg je terecht niet door de schoonheidscommissie.
5. Dubbel Isolatieglas++. Driedubbel glas is overdreven.
6. Isolatie van de spouw en/of het plafond van de kelder.
7. Het huis is nu ruimschoots klaar om van het gas af te gaan. Laat vooral onderzoeken of het loont water-water warmtepompen aan te schaffen. Hiervoor zijn grondboringen nodig.

Ik schat dat dit alles bij elkaar zo'n €50.000 kost (na aftrek subsidies). Je hebt dan wel energielabel A. Je gaat vast en zeker besluiten om keukens en badkamers ook een make-over te geven. De kosten daarvan zijn niet in dit bedrag inbegrepen.

Plan B

Dit plan geldt als alleen het duurzaam maken van jouw huis aan de orde is. Ook dit kun je integraal doen, maar je mist dan de mogelijkheid om het dak van buitenaf aan te pakken en om collectieve energieopslag te realiseren. Een gefaseerde aanpak is dan doorgaans het alternatief. Hieronder vind je de volgorde die ik suggereer. Je kunt er zo lang over doen als je wilt, maar 2030 is een mooi doel.

1. De isolatie van het dak, door van binnenuit dikke isolerende platen aan te brengen. Let goed op de kieren.
2. Leg je dak zo vol mogelijk met zonnepanelen, maar doe dat op een esthetisch-verantwoorde manier om het aanzien van je mooie huis niet te bederven.
3. Alle overige isolatieprojecten: gevel, vensters en kruipruimte. Ook na elkaar. Je huis is nu behoorlijk geïsoleerd (energielabel A zit erin of anders zeker B).
4. Tus dusver heb je nog weinig overlast ondervonden. Die komt nu, als de tijd rijp is voor het grote werk, namelijk aanleggen van vloerverwarming, doe dit op het moment dat je vindt dat het tijd is om van het gas af te gaan.
5. Het sluitstuk is de lucht-water warmtepomp. Voordeel dat dit sluitstuk is, is dat over een paar jaar (nog) betere pompen en zeker goedkopere pompen dan nu op de markt zijn.

Welk plan je ook uitvoert, je bent goed bezig voor het milieu en je verlengt de [technische levensduur](#) van je huis aanzienlijk. Voor mij weegt dit ruimschoots op tegen allerlei [triviale berekeningen](#) van het rendement van je investeringen. Maar gelukkig staan we er niet alleen voor. De overheid en zo nodig ook de banken helpen.

3. Subsidies en leningen

De overheid heeft een reeks [subsidiemogelijkheden](#). Ik noem de salderingsregeling, die terecht geleidelijk na 2023 wordt afgebouwd, is misschien wel de belangrijkste. Terecht omdat de terugleverkosten niet vergoed hoeven te worden, denk aan de noodzakelijke netverzwaring. Uiteindelijk krijg je nog steeds 80% van de energieprijis terug.

Andere subsidies zijn de Investeringssubsidie duurzame energie (ISDE) voor zonneboilers en warmtepompen, de Subsidie voor energiebesparing eigen woning (SEEH) voor isolatie, Btw-vrijstelling bij de aanschaf van zonnepanelen, subsidies voor wie in een van de 100 Proeftuinen Aardgasvrije Wijken woont en verder heeft elke gemeente of provincie nog eigen subsidies.

De [onderlinge verschillen](#) tussen gemeenten voor wat betreft het aantal ingediende en toegekende aanvragen zijn groot. Ameland willigde de meeste aanvragen in, per 10.000 huishoudens waren er dat 426, waarvan de meeste voor warmtepompen. Een overzicht van de gemeentelijke subsidies vind je in de [Energiesubsidiewijzer](#). Afhankelijk van de aard van de werkzaamheden, kan het [subsidiebedrag van de overheid](#) oplopen tot € 15.000.

Je kunt ook lenen bij de overheid. Het Nationaal Energiebesparingsfonds (NEF) vertrekt [duurzaamheidsleningen](#), die overigens via de aannemer worden uitgekeerd. Dat scheelt een hoop gedoe over zwart werk.

Ook de banken springen bij. Wie een hypotheek afsluit kan 6% extra financieren om te investeren in energiebesparende maatregelen. Onder voorwaarde kun je ook de hypotheek van een bestaande woning voor dit doel verhogen. Daarnaast kennen de meeste banken ook [groene leningen](#), die je eveneens onder bepaalde voorwaarde naast je hypotheek kunt afsluiten.

4. Zonnepanelen op huurwoningen

[Roebyem Anders](#) richtte ruim tien jaar geleden Sungevity op, leverancier van zonnepanelen van het eerste uur en dochter van energieleverancier Engie. Ze weet als geen ander dat op de markt voor zonnepanelen samenwerking geboden is. Daarom is ze ook mede-initiator van de Stichting Huurdakrevolutie. Deze ondersteunt woningcorporatie bij het uitrusten van huurhuizen met zonnepanelen.

Zonnepanelen op huurhuizen neemt snel toe. In 2016 was nog slechts 2% van de huurhuizen met zonnepanelen bedekt. Nu is dat al 10%. [Drenthe](#) is koploper met 38%. Dat zijn 250.000 woningen. Gegeven het feit dat 1/3 van alle woningen corporatiewoningen zijn, ligt er nog [een wereld open](#).

De Stichting Huurdakrevolutie is niet de enige organisatie die corporaties een helpende hand toesteekt. De sociale onderneming [Delen Duurzame Energie](#), doet dat in samenwerking met energieleverancier Greenchoice.

Zowel Huurdakrevolutie als Delen Duurzame Energie willen corporaties voor dit doel interesseren en bieden ondersteuning aan om de hobbels weg te nemen. Die zijn er genoeg, te denken valt aan de financiering, het meekrijgen van de huurders en het bedenken van creatieve oplossingen bij

nieuwbouw. Deze hulp kunnen ze wel gebruiken. Het leggen van zonnepanelen op een koopwoning brengt veel minder rompslomp mee.

In Leiderdorp is onlangs het eerste dak van een flat met huurwoningen van zonnepanelen voorzien (foto). De woningwet staat dit in wezen niet toe: Zonnepanelen mogen in dergelijke gevallen allen worden gebruikt voor algemene voorzieningen. Daarom werd een energiecoöperatie opgericht en toen kon het wel.

De bewoners hoeven niets voor de zonnepanelen te betalen en ze krijgen een korting op de energierekening van € 0,12 per kilowattuur omdat de overheid de energiebelasting verlaagt. Ook de betrokkenheid van de bewoners bij de energietransformatie is toegenomen.

De groeiende belangstelling voor zonnepanelen op huurhuizen bij corporaties is ook een interessant perspectief voor leveranciers van zonnepanelen. De les is echter niet te gaat zitten wachten tot dat een corporatie aanklopt. Organisaties als Huurdakrevolutie en Delen Duurzame Energie zijn onmisbare intermediairs omdat deze als niet rechtstreeks belanghebbenden de bewoners het makkelijkst meekrijgen. ‘Het is te mooi om waar te zijn’, zei een van de aanvankelijk tegenstanders. Delen Duurzame Energie kon deze bewoner overtuigen dat het aanbod inderdaad mooi is én waar.



5. Zonnepanelen op corporatiebezit

Van 2017 – 2019 zijn gemiddeld 30.000 eengezinswoningen en 20.000 meergezinswoningen in corporatiebezit van PV-installaties voorzien. Er is sprake van een jaarlijkse groei. In 2019 waren er

dan in totaal al 62.000. De realisatie over die periode vertoont een stijgende lijn. Als die groei zich voortzet zijn in 2037 alle 2,4 miljoen corporatiewoningen van een PV-installatie voorzien. Er doen zich [twee mogelijkheden](#) voor: de woningcorporatie schaft zelf de zonnepanelen aan of zij besteedt dit uit aan een 'energy service company'. Dit heeft voor- en nadelen. Hierover zo dadelijk.

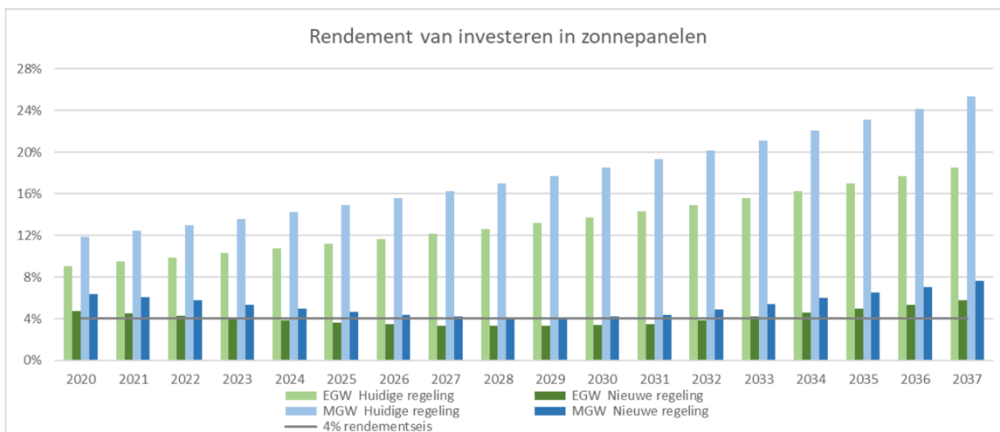
Een tweede onderscheid is dat tussen eengezinshuizen appartementen. Bij appartementen treden complicaties op, zeker als ze meer dan vier verdiepingen hebben. Om überhaupt voor de salderingsregeling in aanmerking te komen moeten alle appartementen een eigen meter hebben. Het is overigens niet nodig dat elke wooneenheid zijn eigen panelen heeft; een handige applicatie kan de stroom verdelen. Als er meer dan vier verdiepingen zijn, dan wordt het stroomverlies door de (gelijkstroom)kabels te groot. In dat geval kan de stroom worden bestemd door de bovenste vier á vijf verdiepingen of als collectieve voorziening, bijvoorbeeld door de lift. Uiteraard kan het hele gebouw ook worden aangesloten op een collectieve meter, maar dan is er van saldering geen sprake meer.

Afschaffing salderingsregeling: probleem voor corporaties?

Op verschillende plaatsen in dit dossier heb ik de salderingsregeling beschreven als een waardevolle prikkel om zonnepanelen aan te schaffen maar tegens als een drama voor de overheid die als gevolg van de groei van de decentrale productie van elektriciteit enorme kosten moet maken om het elektriciteitsnet te verzwaren. Maar vooral woningcorporaties klagen steen en been als gevolg van de afschaffing van de salderingsregeling

Naarmate de salderingsregeling verder wordt afgeschaft, daalt de besparing die zonnepanelen opleveren. De redenering is dan dat woningcorporaties genoeg moeten nemen met een lagere vergoeding voor het gebruik ervan, wat gevolgen heeft voor het rendement van hun investering of stoppen met deze investering. Overigens zullen ze vroeg of laat daar wel mee door moeten gaan, want in 2050 moet hun hele bezit energie-neutraal zijn.

Ondertussen hebben de woningcorporaties verschillende rapporten laten schrijven over de gevolgen van afschaffing van de salderingsregeling voor hun 'business case'. Naar aanleiding van het meest grondige onderzoek door [Facton Energy](#) merkt [Aedes](#), de koepelorganisatie van woningbouwcorporaties op: *Zonnepanelen zijn vanaf 2024 onrendabel voor woningcorporaties. Extra overheidssteun is dan nodig om daken van corporatiewoningen te voorzien van zonnepanelen* Ik vind deze conclusie erg voorbarig. Facton schrijft weliswaar dat het invoeren van de nieuwe salderingsregeling een aanzienlijke impact heeft op het resultaat van de business cases. De terugverdientijd neemt toe, maar deze blijft nog ruim binnen de verwachte levensduur van 25 jaar. Wat de hoogte van het rendement betreft, hierin geeft de onderstaande tabel uit het rapport van Facton Energy inzicht.



Uitgangspunten zijn, als al gezegd een levensduur van panelen van 25 jaar, een gemiddelde jaarlijkse prijsdaling van 3,5% en dat 80% van de besparing door zonnepanelen bestemmen voor de woningcorporaties. Verder wordt uitgegaan van een minimumrendement van 4%. In de periode 2024 – 2033 blijft het rendement van investeringen van zonnepanelen in eengezinshuizen (EWG) daar net onder. *Hieruit mag Eades niet concluderen dat zonnepanelen onrendabel zijn.* De 4%-lijn is om twee redenen arbitrair. Rendement is onder andere bedoeld om rentekosten en het risico van investering te dekken. Beide zijn beperkt. Door 4% te vervangen door 3% zou de redenering heel anders uitpakken. De tweede reden weegt nog zwaarder. Het voorzien van haar woningen van zonnepanelen hoort nog (net) niet tot de kerntaken van een corporatie. Was dat wel het geval, dan was het uitvergroten van de baten en lasten van zonnepanelen niet eens aan de orde. Dan ging het om de verantwoordings van het totale pakket van investeringen in duurzaamheid, waarvoor sowieso subsidie beschikbaar is. Dit is uiteraard waar corporaties naar toe moeten in plaats van via twijfelachtige rekenexercities de uitvoering van een van de aspecten daarvan ter discussie te stellen.

Corporaties moeten inzetten op leggen van zonnepanelen op elk dak waar dat maar kan en het vergroten van het gebruik van zonne-energie in plaats van op het faciliteren van terug levering ervan. Dat verbetert zowel het rendement op hun investering als hun bijdrage aan de energietransitie.



Zonder energieopslag geen energietransitie

Inhoud

1. Eenzijdig accent op de aanschaf van zonnepanelen
2. Kortetermijnopslag
3. Seizoenopslag
4. Overige duurzame energiebronnen

1 Het eenzijdige accent op de aanschaf van zonnepanelen

De overheid stimuleert al bijna 10 jaar de aanschaf van zonnepanelen op daken van particuliere huizen, op bedrijfsgebouwen en - zij het aarzelend - grondgebonden. Om burgers en bedrijven hiertoe te bewegen is diep in de subsidiepotten getast, zijn gunstige belastingfaciliteiten gecreëerd en is een riante salderingsregeling in het leven geroepen. Resultaat, een groei van het aantal zonnepanelen die niemand voor mogelijk had gehouden.

En nu? Nu zit de overheid met de gebakken peren en moet de groei van het aantal zonnepanelen worden beperkt. Het elektriciteitsnet raakt overbelast en het gaat vele miljarden kosten om dit probleem op te lossen. [TenneT](#) heeft inmiddels al een miljard geïnvesteerd in de uitbreiding van het hoogspanningsnet in Noord-Nederland en doet daar de komende jaren nog eens € 215 miljoen bovenop. Voor de rest van Nederland is er de komende jaren € 8 miljard uitgetrokken.

Het net is vol en op sommige plaatsen zo vol dat de inname van zonnestroom gestaakt moet worden. Dit probleem heeft het Nederlandse energiebeleid over zichzelf afgeroepen door jarenlang eenzijdig de aanschaf van zonnepanelen te stimuleren, daarvoor een riante salderingsregeling in

het leven te roepen en tegelijkertijd de opslag van zonne- en windenergie te verwaarlozen. De salderingsregeling maakte de aanschaf van zonnepanelen aantrekkelijk, maar weerhoudt iedereen ervan een accu aan te schaffen. Nu adviseert netbeheerder [Liander](#) om de salderingsregeling versneld af te bouwen en daarvoor in de plaats de aanschaf van accu's en andere vormen van energieopslag te subsidiëren.

Volgens Netbeheer Nederland stijgt tussen 2018 en 2030 de benodigde netcapaciteit met 75 procent. Slechts 13 procent daarvan is het gevolg van de groeiende elektriciteitsvraag. De stijging komt door de duurzame opwek zoals zonnepanelen en windmolens.

De groei van het aantal zonnepanelen kan alleen maar worden toegejuicht. De grote vraag is nu of het mogelijk is op afzienbare termijn de totale kosten van netverzwaring de komende tien jaar te verminderen en het geld doelmatiger te besteden.

Daarbij valt te denken aan innovatieve technieken zoals batterijen bij grote wind- of zonneparken, of waterstofproductie in de buurt van een hoogspanningsstation maar vooral ook de flexibilisering van de levering en afname van zonnestroom door particulieren en bedrijven.

Een vergelijking met de Verenigde Staten

De [Verenigde Staten](#) tonen een heel ander beeld. Ook hier is het aantal zonnepanelen op particuliere daken aanzienlijk gegroeid, maar zonder salderingsregeling en mét een accu. In 2014 ging het nog om een totale opslagcapaciteit bij particulieren van 2,25 megawattuur. In 2018 bedroeg deze al 185 megawattuur. Daarbij komt dat batterijen steeds goedkoper worden.

De overheid subsidieert alleen huishoudens die tegelijkertijd zonnepanelen én een batterij aanschaffen. Een reden daarvoor is ook veiligstellen van de stroomvoorziening: Op veel plaatsen in de VS is de klimaatsverandering al meer te merken dan bij ons. Het aantal overstromingen en stormen neemt hand over hand toe en daarmee ook het aantal malen dat de elektriciteitsvoorziening gedurende langere tijd uitvalt. Huisbatterijen nemen dan onmiddellijk de stroomvoorziening over. Maar ook energieleveranciers spelen een belangrijke rol. Zij rekenen vaak flexibele prijzen. De energie is duur als er veel vraag naar is en goedkoop bij een overvloedig aanbod. *National Grid* geeft klanten die stroom aan het net leveren in perioden van grote vraag een extra vergoeding. *Liberty Utilities* gaat nog verder: Voor een beperkte maandelijkse bijdrage installeert deze elektriciteitsleverancier zelf batterijcapaciteit in particuliere huizen.

Met deze 'clean peak policy' hopen bijvoorbeeld de staten Massachusetts en New York te kunnen afzien van centrales die alleen in de piekuren stroom leveren.

Flexibilisering van vraag en aanbod

Het sleutelwoord is flexibiliseren van zowel vraag en aanbod. Enexis is hier samen met TNO druk mee bezig. Dit [filmpje](#) is een kennismaking met het *Interflexproject* in Eindhoven waarbij Enexis werkt aan het vormgeven van een nieuwe energiemarkt die op flexibiliteit berust.

In de eerste plaats gaat het om de prijs waarmee energie wordt ingekocht en verkocht (onder andere via teruglevering). In wezen ligt het voor de hand dat de prijs voor teruggeleverde energie lager is dan die voor geleverde energie. Dit vanwege de kosten die de netbeheerder daarvoor maakt. Echter, een veel intelligentere oplossing is om de energieprijis, ongeacht of het om levering

dan wel om teruglevering gaat, afhankelijk te maken van de vraag naar energie op dat moment. In perioden dat energie schaars is, bijvoorbeeld na een paar bewolkte en windstille dagen, stijgt de prijs voor zowel de inkoop als de verkoop (teruglevering) van energie. Wie dan een voorraadje energie achter de hand heeft, bijvoorbeeld een volgeladen autoaccu, is voordelig uit. Handig is wel als dit automatisch gebeurt, volgens een aantal transparante regels. Ook is het wenselijk dat de algoritmen die daarvoor worden gebruikt rekening houden met de weersverwachting van de komende dagen. Als de energieschaarste aanhoudt is het beter om de gespaarde stroom zelf te gebruiken!

Er is nog een twee vorm van flexibilisering. Elektrische auto die worden geparkeerd bij een voetbalstadion of 's avonds bij een theater, staan daar een vooraf in te schatten aantal uren. De oplader kan daarmee rekening houden door deze [auto's niet tegelijkertijd of langzamer op te laden](#) om daarmee de vraag naar energie per uur (en dus ook de prijs) te verlagen. Gebruikers van laadpalen zouden eventueel zelf via hun smartphone kunnen aangeven wanneer te denken te vertrekken en hoe vol de accu moet zijn en ook daaraan kunnen verschillende prijskaartjes hangen.

Afbouw salderingsregeling

De salderingsregeling bestaan tot 2023 of wellicht zelfs 2024. Daarna wordt ze daarna afgebouwd in de loop van een periode van acht jaar. Verwacht wordt dat de afbouw van de salderingsregeling gebruikers van zonnepanelen zal stimuleren om te [investeren in energieopslag](#).

Het is te betreuren dat het zo lang gaat duren voordat het effect van de afschaffing van de salderingsregeling voelbaar wordt. Energieopslag krijgt sowieso veel te weinig aandacht; uitbreiding van de opslagcapaciteit is immers noodzakelijk om minder te hoeven investeren in uitbreiding van de capaciteit van het elektriciteitsnet.

De vraag is of er een alternatief is voor de salderingsregeling dat tevens de bereidheid om te investeren in opslagfaciliteiten zal stimuleren?

Opslag van energie

Zon- en windenergie zijn de belangrijkste leveranciers van energie over enkele decennia. Het aanbod van deze energie en de vraag zijn niet alleen ongelijk over de dagen verdeeld, maar ook over de seizoenen.

Essentieel is dat voor uren, dagen en maanden dat de aanvoer van schone energie achterblijft voor de vraag energie achter de hand wordt gehouden. Wat ook achter de hand kan worden gehouden zijn elektrische centrales die alleen worden ingeschakeld in de korte of langere perioden dat wind- en zonne-energie tekortschiet. Daarbij valt te denken aan gas- of steenkool gestookte centrales, maar ook biogascentrales of een of twee kernenergiecentrales. Maar het past het best in de lijn van het streven naar de afbouw van fossiele energie en voorrang geven aan schone energie dat in de eerste plaats wordt gezocht naar mogelijkheden om energie op te slaan.

Korte- en langetermijnopslag

Er kan een onderscheid worden gemaakt tussen korte- en langetermijnopslag. Voor opslag op de korte termijn zijn accu's een bruikbaar middel; hun vermogen neemt gestaag toe en hun prijs

daalt. Steeds meer huizen zullen beschikken over een eigen accu, al dan niet in combinatie met een elektrische auto. Vooral in de winter moet rekening gehouden worden met langere perioden waarin de aanvoer van zonne- en windenergie onvoldoende is. Batterijen zijn ongeschikt voor het aanleggen van een energievoorraad waar we weken mee vooruit kunnen. Gelukkig zijn ook hier alternatieven, die in tweede instantie aan de orde zullen komen.

2 Korte termijn opslag

Grootschalige opslagfaciliteiten

Grootschalige opslagfaciliteiten spelen een driedubbele rol. In de eerste plaats uiteraard om de energievoorziening op peil te houden in tijden dat wind- en zonne-energie tekortschieten. In de tweede plaats voor al die gevallen dat de reguliere stroomvoorziening enige tijd stagneert, bijvoorbeeld als gevolg van de uitval van een centrale. In de derde plaats is de aanwezigheid van opgeslagen elektriciteit van belang om het net te balanceren. Dit gebeurt door energie op te slaan als overbelasting dreigt. Hiermee kunnen hoge kosten voor [verzwaring van het net](#) worden uitgespaard of in elk geval verminderd.

In November 2020 is in Lelystad de [grootste batterijopslag](#) van Nederland geopend: 12 megawatt. De batterij staat naast het Neushoortocht windpark. Eerder naam Vattenfall al een batterij in gebruik met een bescheiden capaciteit van 3 megawatt bij het windpark Prinses Alexa. Deze zal nog tot 12 megawatt worden uitgebreid. Het vermelden waard is ook het feit dat Vattenfall op Goeree-Overflakkee een grootschalig [hybride energiepark](#) bouwt. Het park zal bestaan uit 124.000 zonnepanelen (vermogen 38 megawatt), 6 windturbines (vermogen 22 megawatt) en 12 zeecontainers vol batterijen met een vermogen van – alweer - 12 megawatt.

Wereldwijd stelt de Nederlands opslagcapaciteit door middel van lithium-ion batterijen niet zo veel voor. In het VK heeft Vattenfall naast het [windpark Pen y Cymoedd](#) 500 BMW-i3 accu's in serie geplaatst, wat een vermogen van 22 megawatt oplevert. De 76 windturbines leveren jaarlijks 13 procent van de elektriciteitsbehoefte van alle huishoudens in Wales. In Duitsland staat een batterij van Eneco van 48 megawatt. De grootste batterijen staan in Australië en de VS.



De Rhino batterij bij Lelystad. Foto: Giga Storage

Tesla heeft vooralsnog [de grootste energieopslagbatterij ter wereld](#) gebouwd in Zuid-Australië met een vermogen van 100 megawatt en een opslagcapaciteit van 129 megawattuur. De stroom wordt geleverd door een nabijgelegen windpark. De batterij heeft onmiddellijk haar waarde bewezen. Bij een recente stroomuitval herstelde zij vele malen sneller en zonder enig probleem voor de gebruikers de levering van energie dan de gebruikelijke gasturbines die voor dit doel klaar staan. Bovendien voor een prijs die 90% lager ligt.

Vattenfall gebruikt voor zijn energieopslagproject in Wales 500 BMW-i3 accu's. Deze leveren samen een vermogen van 22 megawatt en worden eveneens gevoed door een nabijgelegen windpark. Dit bestaat uit 76 windturbines en levert jaarlijks 13 procent van de elektriciteitsbehoefte van alle huishoudens in Wales. Vattenfall is ook in Nederland actief (NUON). Bij het Nederlandse windpark Prinses Alexia is een [opslagbatterij van 3 megawatt](#) geïnstalleerd. Deze wordt opgeschaald naar 12 megawatt.

Ook Siemens is actief in Australië. Het bedrijf heeft inmiddels al voor 300 megawatt aan windenergiecapaciteit geïnstalleerd, deels met bijbehorende energieopslag.

Tenslotte, [Californië](#) krijgt een batterij met een vermogen van 100 megawatt en die 400 megawattuur kan leveren.



Hornsdale, elektriciteitsopslag

Opslag van energie in de buurt

Buurtbatterijen (of tijdelijke energieopslagsystemen) zijn inmiddels een bekende verschijning (afbeelding volgende pagina)

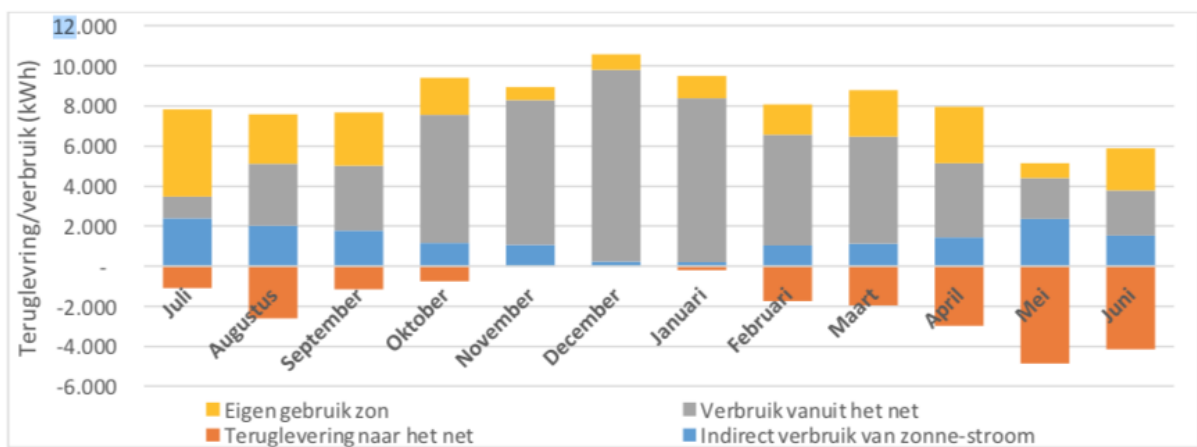
Rijsenhout

In 2017 is voor het eerst in Nederland een buurtbatterij in gebruik genomen. In Rijsenhout (Haarlemmermeer) testen 35 huishoudens een buurtbatterij, samen met Tegenstroom, Lyv smart Living en netbeheerder Liander. Doel was vooral om te onderzoeken of deze een betaalbaar alternatief is voor het leggen van een dikkere kabel. Het energiemanagementsysteem van Lyv zorgt ervoor dat het overschot aan opgewekte energie in de batterij wordt opgeslagen en geregistreerd.



Voorbeelden van buurtbatterijen

Uit de onderstaande tabel blijkt dat de 35 huishoudens samen 16.354 kWh aan zelf opgewekte zonne-energie via de buurtbatterij hebben verbruikt (blauw in onderstaande grafiek) . Dit is evenveel als 5 huishoudens per jaar verbruiken! Ook blijkt dat nog veel energie aan het net is teruggeleverd (oranje). Dit komt omdat in de warmste maanden de capaciteit van de batterij te klein is. Het effect van de buurtbatterij. Figuur: Tegenstroom



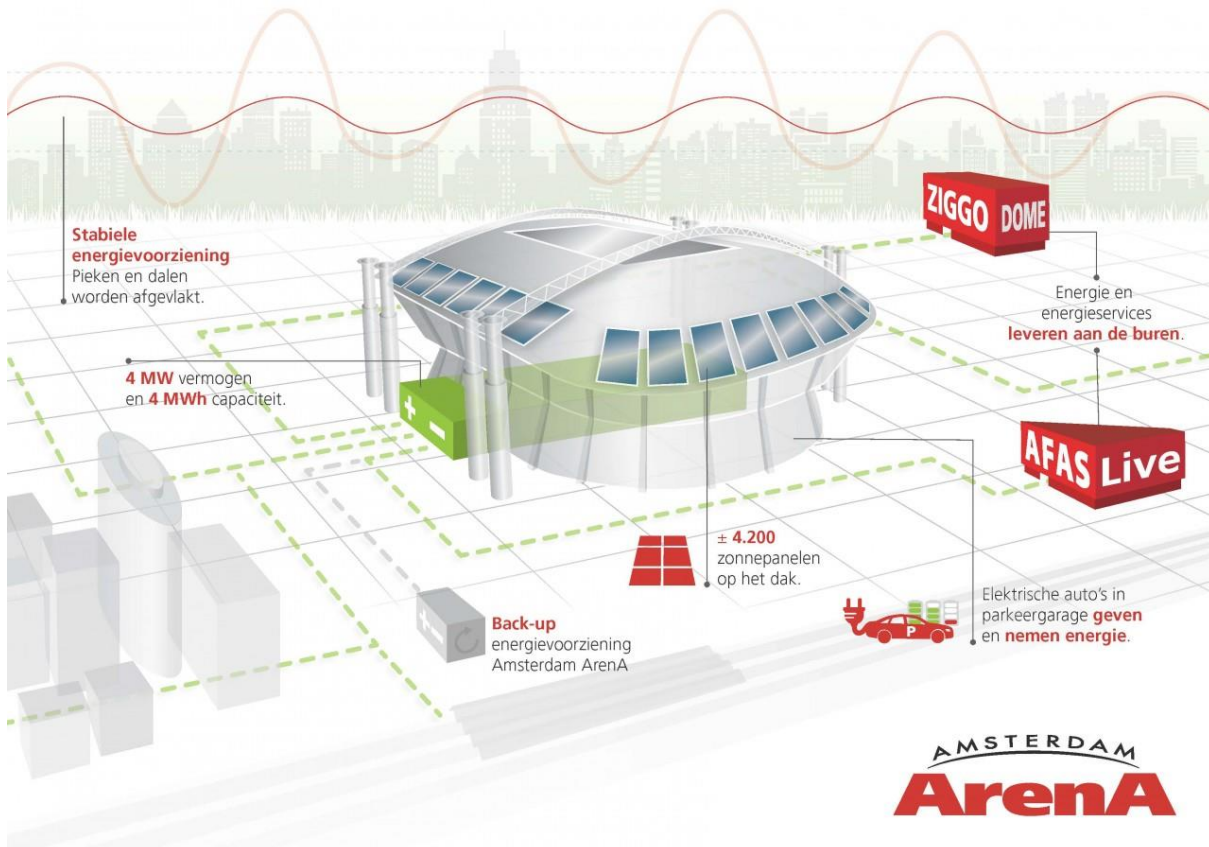
De energiewinning en -opslag in Nederland zal zowel groot- als kleinschalige elementen bevatten. In het rapport [Haalbaarheid en schaalbaarheid van de buurtbatterij](#) onderzoekt DNV GL de bijdrage aan de opslag van energie in Nederland van kleinschalige energieopslagsystemen, ook wel

buurtbatterijen genoemd. Hun aanleg is eenvoudig en de impact op de omgeving blijft beperkt. Het concept van de buurtbatterij is goed toepasbaar in woonwijken. Hierdoor wordt *peer-to-peer* uitwisselen en verhandelen van stroom mogelijk, wat op termijn een uitstekend alternatief is voor de salderingsregeling. De aanwezigheid van een buurtbatterij maakt het onnodig dat elk huishouden over een eigen opslagfaciliteit beschikt.

Amsterdam Arena

Een ander voorbeeld van de toepassing van een buurtbatterij geeft de [Amsterdam Energy Arena BV](#) of te wel de Johan Cruijff Arena. De opslagcapaciteit is 3 megawatt. Er wordt gebruik gemaakt van de 4200 zonnepanelen op het dak van het stadion. Deze virtuele energiecentrale gaat stroom leveren in de directe omgeving en is ook een buffer voor het net.

In 2017 zijn er verschillende andere pilots met buurtbatterijen geweest, onder andere in Ridderkerk, Etten-Leur en Weert. Er zijn wel vragen gerezen over de veiligheid. Bij brand kunnen er giftige gassen vrijkomen. De betrokken energiebedrijven in Nederland - onder meer Engie en Liander - voorzien de buurtbatterijen van een systeem dat bij brand alle zuurstof uit de container zuigt waardoor het [vuur direct dooft](#). Inmiddels schrijdt de professionalisering van de buurtbatterijen voort. De werkgroep Buurtbatterijen van NEN heeft inmiddels een concept met ontwikkeld met hiervoor geldende normen. Met de werktitel *NEN 4288 - Bedrijfsvoering van opslagsystemen voor elektrische energie*. Ook het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft een aantal [richtlijnen](#) gepubliceerd, toegespitst op Lithium-ion batterijsystemen.



Het grid van de Amsterdam Energy Arena – afbeelding Amsterdam Arena.

Privéopslag: de virtuele energiecentrale

Vijf jaar geleden is in Amsterdam al op bescheiden schaal geëxperimenteerd met [batterijopslag](#) in particuliere huizen. Eveneens is toen begonnen met experimenteren met smart grids onder de naam Virtual Power Plant. Er deden enkele tientallen huishoudens aan mee, maar van opschaling is het nooit gekomen

De grootste sprong voorwaarts lijkt van [Tesla](#) te komen: de Virtual Power Plant. Tesla gaat in Australië hetzelfde doen, maar dan met 50.000 huishoudens. Het bedrijf werkt aan een enorme [virtuele energiecentrale](#). Elk huishouden heeft zonnepanelen, met een vermogen van 5 kilowatt en een Tesla Powerwall 2 batterij van 13,5 kilowattuur. De centrale heeft hierdoor een vermogen van 250 megawatt en een opslagcapaciteit van 675 megawattuur.

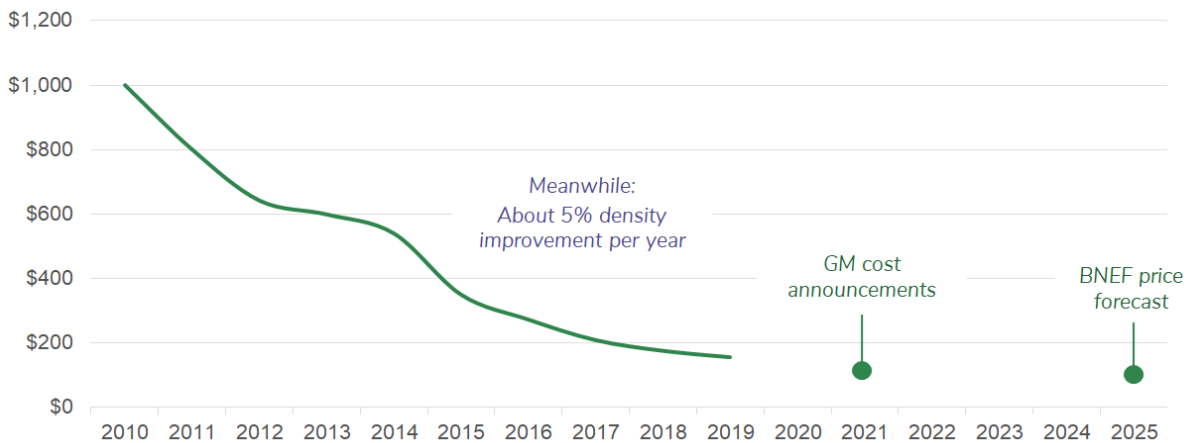
In Egon Musk's wildste fantasieën laten alle huisbezitters in de VS hun daken bedekken met zonnepanelen en hun huizen voorzien van powerwalls. Ze laden de accu vol met zelf opgewekte energie en met goedkope energie als het aanbod groot is en ze leveren de energie die ze over hebben aan de elektriciteitsmaatschappijen tegen de marktprijs. Hiermee wordt zowel netstabiliteit gegarandeerd, elektriciteitsmaatschappijen kunnen een 'clean peak policy' voeren en consumenten besparen fors op de energiekosten. Een pilot in Australië leerde dat dit voordeel gemiddeld 20% van de jaarlijkse energiekosten is.



Kosten batterijopslag

De plaatsing van batterijen bij elk huis was een paar jaar geleden nog nauwelijks haalbaar omdat batterijen, met name de meest gebruikte exemplaren, lithium-ion batterijen veel duurder waren dan nu (Zie tabel). Verdere daling is waarschijnlijk, maar tegelijkertijd stijgen eveneens de prijs van lithium en de winning ervan heeft bedenkelijke implicaties voor mens en milieu.

In het geval van opslag in, of beter buiten de eigen woning, is het te prefereren om tegelijkertijd onderlinge uitwisseling van stroom mogelijk te maken, wat de noodzaak om aan het net terug te leveren verder verkleint en daarbij ook voorwaarden schept om gebruik te maken van fluctuaties op de energiemarkt. In geval van zo'n koppeling spreken we van een 'smart grid'. Dat zijn lokale elektriciteitsnetten, deels afgescheiden van het hoofdnet, waarbinnen burgers en bedrijven overtollige energie uitwisselen en eventueel opslaan in een buurtbatterij.



De ontwikkeling van de prijs van een lithium-ion batterij per opgeslagen kilowattuur. Bron: Bloomberg New Energy Finance, 2019

Flexibilisering met thuisbatterij of auto

Voor de installatie van een batterij voor een huishouden van gemiddelde omvang nog altijd rond de €5000 worden uitgetrokken. [Hier](#) treft u een overzicht aan van de meest geleverde systemen voor particulieren. Een goede optie voor zakelijke gebruikers staat [hier](#).

Zo lang de salderingsregeling beschikbaar is, zal geen enkele particulier denken over de aanschaf van een batterij, tenzij deze om wat voor reden dan ook een noodstroomvoorziening wil hebben. Maar vanuit de overheid gezien is de groei van het aantal batterijen uitermate wenselijk. Daarom is het overwogen van een subsidie voor de aanschaf van een batterij van zeg € 4000 in combinatie met een energie managementsysteem - zeer wel te verdedigen, te financieren uit de reservering voor de kosten van netverzwaring.

Degenen die een elektrische auto aanschaffen krijgen al een forse subsidie op de kosten van de batterij in hun auto. Aan deze subsidie zou de voorwaarde verbonden moeten worden om akkoord te gaan met een regeling voor flexibel laden. Dat betekent dat de auto via een thuislader die is gekoppeld aan een energiemanagementsysteem de laadsnelheid van de auto aanpast aan de beschikbare energie, maar ook dat als er een tekort is aan energie, de batterij van de auto kan worden gebruikt als energiebron. Een autobatterij levert makkelijk de energie voor een huishouden gedurende een week. Uit een experiment, onder andere opgezet door netbeheerder Enexis, bleek dat met de inzet van elektrische auto's de [piekbelasting](#) van het net met 40% verminderd kan worden. Ook in Utrecht loopt een [vergelijkbaar project](#). Deze korte [video](#) laat zien hoe het werkt

Ik denk overigens dat de batterijen in de auto en die in huis elkaar goed aanvullen.

Alternatieven voor lithium

In alle projecten die tot nu besproken zijn, worden lithium-ion (li'ion) batterijen gebruikt. Probleem is dat de snelgroeiende vraag lithium steeds schaarser en duurder maakt. Daarom wordt met vereende krachten gezocht naar alternatieven. Een daarvan is de [mangaan-waterstof batterij](#), een ander de [siliciumbatterij](#). Deze laatste zou een opslagcapaciteit kunnen hebben die tienmaal groter is dan die van de li'ion batterij. Het gaat nog jaren duren voordat beide op de markt zijn. Ook interessant is het gebruik van [tweedehands autoaccu's](#) voor energieopslag. Hun aanbod is vooralsnog beperkt.

In dit verband is een alternatief buitengewoon interessant. Met het bouwen van waterstofbromide flowbatterijen maakt de Nederlandse startup [Elestor](#) het mogelijk grote hoeveelheden duurzaam opgewekte energie op te slaan tegen aanzienlijk lagere kosten dan met de lithium-ion batterijen. *Daarmee hopen we de haperende energietransitie vlot te trekken*, aldus CEO Guido Dalessi, die samen met CTO en oprichter Wiebrand Kout de directie vormt.

De energie wordt niet in de batterijcellen opgeslagen, maar in aparte tanks die waterstof en broom bevatten. Behalve voor buurtbatterijen is dit ook voor bedrijven een uitstekende optie. Een belangrijke ambitie van Elestor is om de kosten van elektriciteitsopslag te verlagen. De opslagkosten per kWh van huidige batterijen zijn te hoog, waardoor diverse zonne- en windmolenparken op dit moment niet economisch verantwoord aangesloten kunnen worden. De omvang van het systeem kent geen beperkingen; daardoor kunnen systemen van honderden megawatturen worden gebouwd.

Deze [video](#) geeft een beeld van hoe deze opslag werkt.

3. Seizoensopslag

Op een zonnige en winderige dag in de zomer zal het toekomstige energie-aanbod de vraag overtreffen. In de winter is er een tekort. Om deze reden is seizoensopslag een absolute noodzaak. Op dit gebied is nog maar weinig beweging. Dit blijkt alleen al uit het feit dat de al bijna een eeuw oude methode van seizoensopslag, waterkracht, nog steeds 95% van de totale opslagcapaciteit omvat. Aan hydro-elektrische centrales zitten veel milieunadelen en ze kunnen maar op een beperkt aantal plaatsen gebouwd worden. Daarvan moeten we het hebben.

Een recent onderzoek van [McLinsey&Company](#) is een niet te missen wake-up call. Zonder grootschalige lange-termijn opslag van energie (LDES, long duration energy storage) is energietransitie ondenkbaar. Voor dit doel moet voor 2050 \$1000 – 2000 miljard worden geïnvesteerd. Er kunnen vier soorten lange-termijn opslag worden onderscheiden.

A. Mechanische lange termijn-opslag

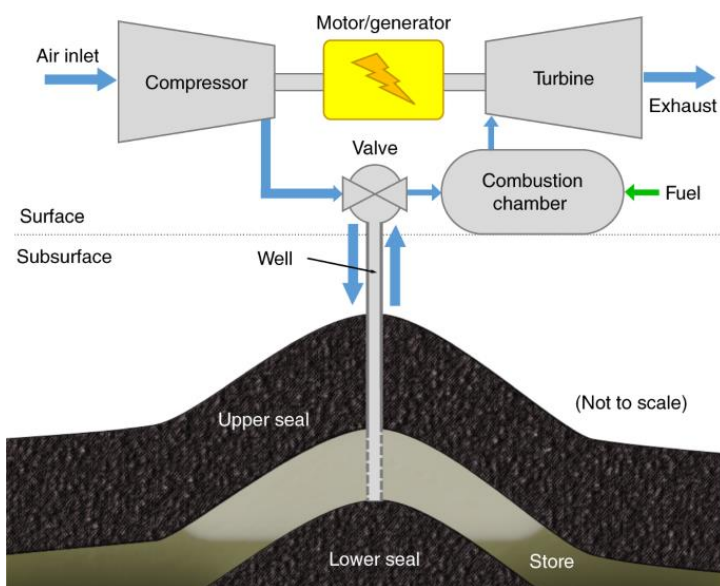
Als al vermeld, waterkracht is de meest voorkomende vorm van lange termijn-opslag. Naast de bekende waterkrachtcentrales, is een aantal varianten in ontwikkeling, die op meer plaatsen in de wereld kunnen worden gerealiseerd. Een daarvan is PSH (pumped storage hydropower). Hiervoor zijn een boven- en een beneden-meer nodig, die op enige afstand van elkaar kunnen liggen. Een goed voorbeeld is te vinden in het Belgische Coe. Er tussenin ligt een waterkrachtcentrale. In tijden van energieoverschot, wordt water van het beneden-meer naar het bovenmeer gepompt.

In meer reliëfrijke landen om ons heen is het omhoog pompen van water met behulp van overtollige elektriciteit naar reservoirs - meestal bestaande stuwmeren - een van de oudste en nog steeds meest voorkomende manieren van energieopslag. Dit water wordt in tijden van energieschaarste gebruikt om nieuwe energie op te wekken door middel van waterturbines. In het begin van de jaren '80 heeft ir. [Luc Lievense](#) een aantal voor Nederland bruikbare toepassingen van dit principe ontworpen: Kunstmatige meren in de Markerwaard en zelfs in de Noordzee. Deze bekkens, in hoogte variërend van enkele tientalen tot honderd(!) zouden worden volgepompt met water in tijden van energieoverschotten en hydro-elektrische centrales zouden energie opwekken als daaraan behoefte was. Aanvankelijk waren er wel oren naar dit plan, maar al snel werd duidelijk dat enkele conventionele centrales achter de hand houden voor piekcapaciteit veel goedkoper was.





Plan Lieveense 1981 – Tekening gebroeders Das



Op nog grotere schaal kan perslucht worden toegepast (CAES, compressed air energy storage) of door verhitting vloeibaar gemaakte lucht (LAES, liqued air energy storage). In [Californië](#) heeft het bedrijf Hydroster plannen om een ondergrondse persluchtcentrale aan te leggen, die qua opbrengst een grote waterkrachtcentrale moet evenaren. In Nederland onderzoekt de NAM samen met Storelectric de mogelijkheden

B. Thermische lange termijn-opslag

In dit geval is sprake van de opslag van elektriciteit of warmte in de vorm van thermische energie. Media als zout, beton, zand of basalt komen het meeste voor, althans in de vooralsnog beperkte experimenten. Maar water kan ook.

De opslag van energie in zout

De meest voorkomende vorm opslag in zout, dat smelt en dan een grote hoeveelheid energie kan opslaan. Grootschalige toepassingen lijken vooral rendabel in combinatie met zonnecollectoren (CPS, concentrated solar power). Deze laatste zijn slechts op een beperkt aantal plaatsen op de

wereld mogelijk. Echter, als overtollige energie wordt gebruikt dan is deze vorm van lange-termijn-opslag overal denkbaar. Niet-geëxploiteerde zoutlagen bieden goede mogelijkheden.



Proefopstelling warmteopslag in zout – Foto TNO

Lithium-ion accu's maken ons erg afhankelijk van de beschikbaarheid van lithium. Daarom wordt er naarstig naar alternatieven gezocht. Zout is een daarvan. Al enkele jaren werkt [Marnix ten Kortenaar](#) aan de ontwikkeling van de zeezoutbatterij: *Het principe is in al zijn eenvoud een bak met opgelost zeezout en koolstofelektroden*. De vooralsnog kleinschalige productie van zoutaccu's op basis van grondstoffen die vrijwel niets kosten, gebeurt in *Dr. Ten*, het bedrijf achter de zeezoutbatterij.

De opslag van warmte is doodeenvoudig. Het enige wat je nodig hebt is een blok zout van twee kubieke meter. Hierin past genoeg energie om je woning de hele winter te verwarmen. Thermische zonnecollectoren zetten daartoe zonlicht om in warmte. De warmte veroorzaakt een chemische reactie in het zout waardoor dit dehydrateert. Omgekeerd, toevoegen van water aan het droge zout maakt warmte vrij. [Pim Donkers](#) (TU/e) onderzocht hoe dat proces precies werkt en welk zout je het best kunt gebruiken. Het grootste probleem was de degeneratie van het zout, waardoor zijn opslagcapaciteit geleidelijk vermindert. [TNO](#) heeft dit probleem inmiddels opgelost door de eigenschappen van het gebruikte zout te beïnvloeden. Het voordeel is evident; zout is goedkoop en op grote schaal beschikbaar.

Bekijk hier een [filmpje](#) over de manier waarop deze vorm van warmteopslag werkt.

TNO is in 2017 met negen bedrijven in acht Europese landen aan de slag gegaan om deze vinding verder te ontwikkelen tot een marktrijp product. Dit gebeurt in het kader van het Europese project [CREATE](#). Er zal ze snel mogelijk een demohuis worden ingericht dat op deze manier van warmte wordt voorzien.

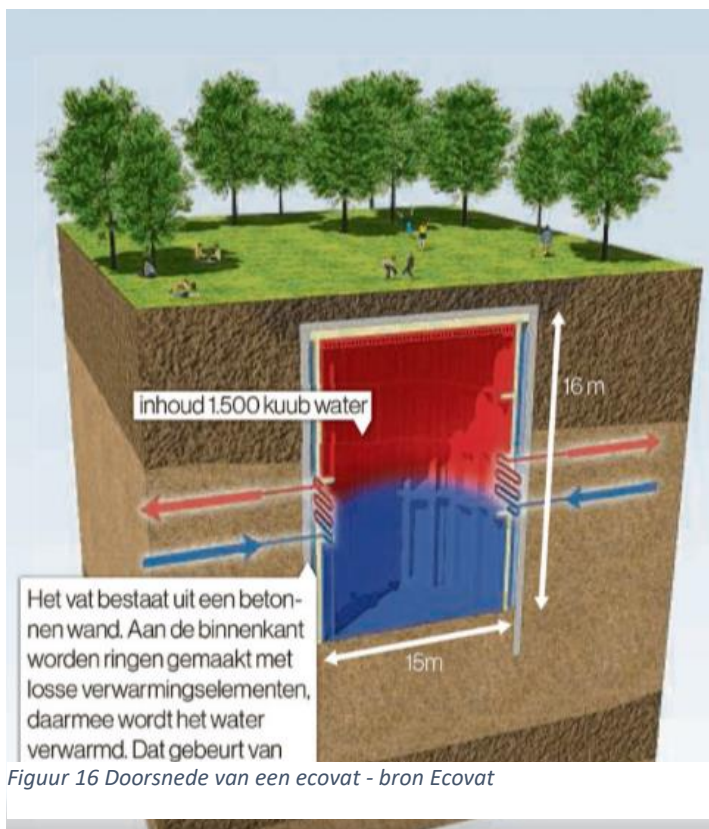
Een proefproject in het Overijsselse dorpje Heeten maakt gebruik van zeezoutbatterijen. Doel van het project [Gridflex](#) is de ontwikkeling van een lokale energiemarkt. Hierin wordt zonne-energie volledig lokaal opgewekt, opgeslagen, verhandeld en verbruikt. Opslag gebeurt in 25 zeezoutbatterijen van Dr. Ten. Deze zijn bij deelnemers aan de pilot in huis geplaatst.

Voor deze pilot heeft energiecoöperatie *Endona* [onthefing van de Elektriciteitswet](#) gekregen door gebruik te maken van de experimenteerregeling. De proef wordt in 2019 geëvalueerd met het doel te komen tot een verdienmodel.

Water

Een aantal steden in Denemarken verzekert zich gedurende het hele jaar van voldoende warmwater met behulp van zonnecollectoren in combinatie met enorme warmwaterbuffers. Deze oplossing doet een fors beroep op de beschikbaarheid van ruimte en is daardoor vooral geschikt voor kleinere plattelandsgemeenten. Overigens wordt de noodzaak om warmteopslag minder zodra op grootschalige wijze gebruik kan worden gemaakt van warm aardwater dat zich op diepten tussen de een en vijf kilometer bevindt. Maar over de winbaarheid daarvan, zeker in grote hoeveelheden is tot op heden weinig bekend.

De idee is dan dat stroomoverschotten worden omgezet in warmte die wordt opgeslagen in water. Het bedrijf [Ecovat](#) heeft een opslagvat ('het ecovat©') ontwikkeld, waarin 1500 m³ water voor 6 maanden ondergronds wordt bewaard met een temperatuur van 90 graden Celsius en een rendement van eveneens 90%.



Figuur 16 Doorsnede van een ecovat - bron Ecovat

Het ecovat© is een dubbelwandig vat. Warmtewisselaars tussen de dubbele wand zorgen voor onttrekking of toevoeging van warmte aan het water in het vat. Het water dat door de warmtewisselaar loopt wordt rondgepompt en verwarmd met duurzame warmte uit lokale warmtebronnen zoals geothermie, restwarmte en zonnecollectoren. De warmtewisselaar geeft de warmte af aan het water in het vat. Bij vraag naar warmte verloopt het proces in de warmtewisselaars precies omgekeerd en wordt warm teruggestuurd naar het warmtenet.

Het ecovat© is ook voorzien van besturingssoftware. Deze zorgt er onder andere voor dat op basis van actuele weersverwachtingen en energieprijzen actie wordt ondernomen.

Bekijk [hier](#) een korte animatie over de aanleg van een ecovat©

Er is inmiddels een demonstratieproject gerealiseerd in Uden en het is de bedoeling dat een ecovat© in de toekomst voor het warm water in 'Het Dorp' nabij Arnhem gaat zorgen.

Het demonstratieproject in Uden heeft een capaciteit van 88.000 kWh en kan tot 1000 woningen van warmte voorzien. Ecovat werkt samen met Enexis, een regionale netbeheerder in Nederland.

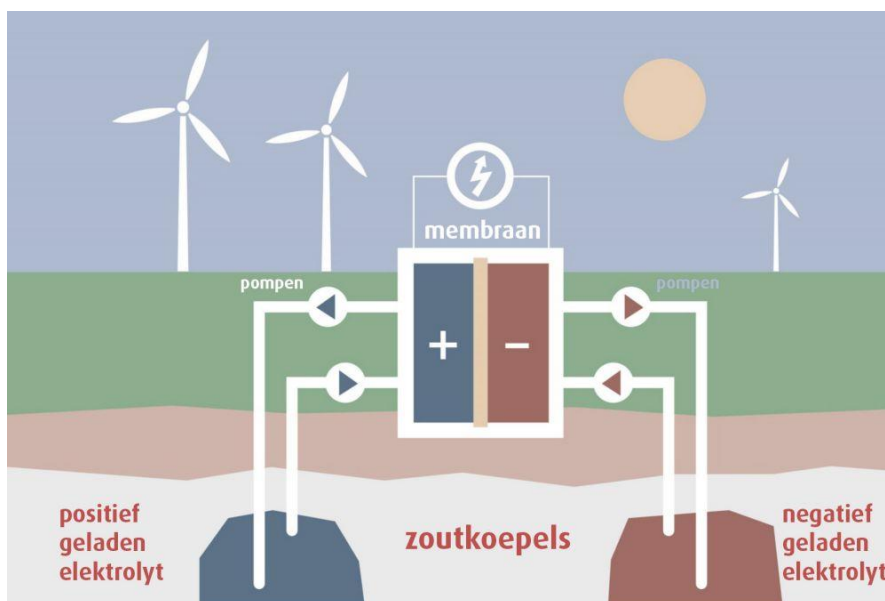
Beton

Onderzoekers van de Zweedse "Chalmers tekniska högskola" hebben een batterij gemaakt van beton. Door cement te mengen met door metaal bedekte koolstofvezels, kan een blok beton straks energie opslaan. Deze nieuwe batterij heeft een veel geringere opslagcapaciteit dan een 'gewone' batterij, maar gezien de grootschaligheid van de beoogde toepassing, heeft deze techniek grote potentie. Dit uiteraard los van de vraag of er nog veel betonnen flat- of kantoorgebouwen gemaakt gaan worden.

Aarde

In Nederland zoekt [Gideon Goudsmit](#) het in een heel andere richting. Hij is doende met het opslaan van warmte in de bodem op een diepte van 150 meter. De temperatuur in het proefgebied is inmiddels al tot 20°C opgelopen (30°C is het toegestane maximum). Hij hoopt deze kunstmatige warmte deze winter terug te winnen.

C. Electro-chemische lange termijn-opslag



In essentie gaat het hier om reuzebatterijen, waarbij twee soort chemische oplossingen worden gebruikt, die in zoutkoepels of tanks worden opgeslagen. Het project heet [brine4power](#) (in Nederland: [Pekel4Power](#)). Een positief en een negatief geladen elektrolyt vormen de basis voor deze 'natuurlijke' batterij, uitgaande van de ionen van gewoon zout.

Het Duitse bedrijf [EWE](#) wil uiteindelijk zoutkoepels gebruiken voor de opslag van elektriciteit. Het maakt daarbij gebruik van het principe van de [redoxbatterij](#), die eveneens werkt op basis van een zoutoplossing. Voordat de uiteindelijke opslag van de elektrolyten in zoutkoepels een feit is, wordt een bovengrondse testopstelling in plastic containers gerealiseerd. De opslagcapaciteit zal geleidelijk worden verhoogd naar 2500 kilowattuur. De proef met zoutkoepels zal plaatsvinden in Jemgum langs de Eems, vlakbij Groningen. EWE gebruikt deze koepels nu nog voor de opslag van gas. De batterij zal in 2023 uiteindelijk bestaan uit twee zoutkoepels met een volume van 100.000 m³ en een totale opslagcapaciteit van 700 MWh.

Als de proeven slagen, zal ongetwijfeld ook het gebruik van zoutkoepels onder Noord-Nederland aan de orde komen. Voor zover nu bekend, zijn aan deze vorm van duurzaam energiebeheer geen schadelijke effecten verbonden.

D. Chemische lange termijn-opslag

Naar mijn gevoel zijn de meeste alternatieven voor waterkracht nog ver verwijderd van grootschalige implementatie. Waterstof lijkt nog de grootste kansen te bieden, maar daarvoor is veel overtollige zonne- en windenergie nodig, tenzij we waterstof grootschalig gaan importeren, waar uiteraard niets veel op tegen is.

Hier wordt elektriciteit opgeslagen door het aangaan van chemische bindingen. De snelgroeende toepassingen zijn power-to-gas en power-to-hydrogen (en visa versa). Samen met CO₂ kan er ook methaan worden gemaakt, dat een vergelijkbare werking heeft als aardgas. Veel landen zetten hun troeven op het gebruik van waterstof als opslagmiddel voor energie.

Aan de rol van waterstof als middel om energie op te slaan wijd ik een apart hoofdstuk.

4. Overige duurzame energiebronnen

Voordat ik inga op de rol van waterstof, als een soort finale van dit boek, komen nog vier hoofdstukken aan de orde over energiebronnen die een welkome aanvulling kunnen betekenen op zonne-energie en overigens alle uiteindelijk afkomstig zijn van zonne-energie. Het gaat om aardwarmte, biomassa, kernenergie en opvangen en opslaan van CO₂. In vrijwel alle publicaties over de energietransitie worden een of meer van deze bronnen genoemd als een belangrijk of zelfs noodzakelijk middel om de afhankelijkheid van zonnepanelen en windmolens te verkleinen, ook om de impact daarvan voor het landschap en de zee minder te maken. Aan het gebruik daarvan zitten de nodige nadelen en een aantal milieuwetenschappers is er dan ook tegen gekant. Eerder heb ik dit viertal dan ook de 'stiefdochters' van de milieuwetenschap genoemd. Ik vind echter dat het doel – duurzame energie – voorop staat en dat alle middelen die behulpzaam zijn om dat doel te bereiken snel maar grondig onderzocht moeten worden. Al was het alleen al omdat de tegenstanders van (grondgebonden) zonnepanelen en die van windmolens, te land of ter zee zich eveneens roeren.



Aardwarmte

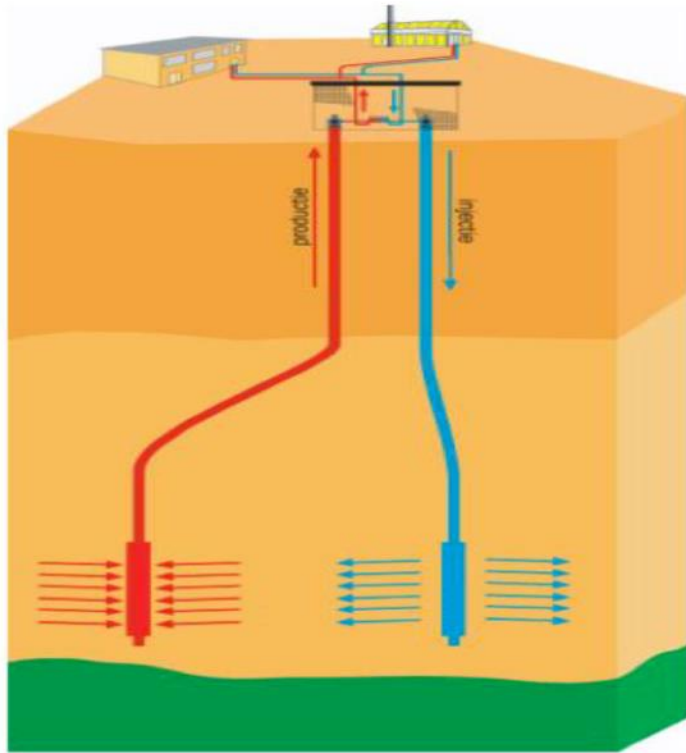
Inhoud

1. De winning van aardwarmte
2. De reserves van aardwarmte
3. midden- en hoge temperatuur warmte
4. Lage temperatuur warmte

Zonne- en windenergie worden vooral in verband gebracht met de productie van elektriciteit. Om aardgas als warmtebron te compenseren, benadrukken velen het belang van aardwarmte, overigens naast industriële restwarmte. Onderzoek op enige schaal naar de vindplaats en de exploitatie van aardwarmte in Nederland is nog maar enkele jaren geleden op gang gekomen. Je kunt gerust spreken van een race tegen de klok.

1. De winning van aardwarmte

In 2017 bedroeg het [aandeel van aardwarmte](#) in het wereldwijde energiegebruik (afgerond) 0%, tegen 81% fossiele bronnen. Veel plaatjes van aardwarmtecentrales, als de Nesjavillur energiecentrale; de grootste installatie voor geothermie in IJsland, kun je dan ook niet vinden (Foto: Gretar Ivarsson - publiek domein). In IJsland, met zijn ondergrond vol vulkanische verschijnselen, is er warm water genoeg om het hele eiland te verwarmen.



Figuur 17: Doublet met productie- en injectieput

het vandaan komt. Hier wordt het weer opgewarmd. Beide putten samen heten een doublet.

Aardwarmte komt van verschillende diepten

Tot 500 meter wordt meestal gesproken van bodemwarmte. Het water op die diepte is ongeveer 30 °C. Opwarming gebeurt door de instraling van de zon. Met een warmtepomp wordt dat verder verwarmd tot 60 °C. De pomp is individueel aan te sluiten op een (bij voorkeur meer) redelijk geïsoleerde huizen of gebouwen. Vaak wordt het koude water in de zomer voor koeling gebruikt en dan na opwarming teruggepompt in de bodem, waar het in de winter weer wordt opgepompt voor verwarming. We spreken dan van [koude- en warmteopslag](#) (KWO), waarvan trouwens allerlei varianten zijn.

Dieper dan 500 meter wordt het water door de aarde zelf op temperatuur is gebracht. Daarom spreken sommigen dan pas van aardwarmte of geothermie. Op 2000 meter diepte is de temperatuur van het water 50°C en die loopt op tot wel 125°C op 4000 meter. De [warmtebron](#) is overigens niet het binnenste van de aarde, maar in die lagen aanwezige radioactieve elementen. Kernenergie is dichterbij dan vaak wordt gedacht. Het water wordt verder verwarmt met een warmtepomp of staat zijn warmte via een warmtewisselaar af voor gebruik.

Met [ultradiepe geothermie](#), tussen 4-6 km kan water met een temperatuur tot 200°C worden gewonnen. Deze warmte is geschikt voor toepassing in de industrie, bijvoorbeeld papierfabricage. In Nederland is dit nog niet aan de orde.

Bekijk hier een kort [filmpje](#) over de winning van aardwarmte:

Wat Nederland betreft, de vraag naar warmte bedraagt ongeveer 960 petajoule (1 petajoule= $2,78 \times 10^8$ kilowattuur). De bijdrage van geothermie is nu slechts 3 petajoule. Deze wordt vooral in het Westland gewonnen ten behoeve van de glastuinbouw. Daar is ook het eerste regionale warmte-net op basis van aardwarmte volop in ontwikkeling.

In essentie is de winning van aard- en bodemwarmte warmte heel eenvoudig. Op verschillende diepten, variërend van 50– 6000 meter bevinden zich omvangrijke wateraders, met een temperatuur die varieert van 15 – 125 °C. Het water wordt opgepompt, geeft zijn water via een warmtewisselaar af en het afgekoelde water verdwijnt weer via een injectieput in de bodem, op enige afstand van de plaats waar

Aardwarmte heeft veel voordelen. Nadelen ook, maar deze betreffen vooral neveneffecten van het boren.

Voordelen

- Bronnen kunnen op veel plaatsen worden aangeboord.
- Het gaat om hernieuwbare energie.
- De exploitatiekosten zijn voorspelbaar.
- Bij winning en transport komt nauwelijks CO₂ of fijnstof vrij. Het gebruikte water wordt opgepompt en stroomt in de aarde terug.
- De exploitatie geeft geen geur-, stof- of geluidsbelasting en heeft weinig ruimte nodig.
- De productie is weersafhankelijk.
- Er zijn geen effecten voor mens, dier, plantengroei en ondergrond.

Nadelen

- In natuurbeschermingsgebieden en wingebieden voor drinkwater mag niet worden geboord.
- In aardbevingsgebieden mag niet of met strenge veiligheidsmaatregelen worden geboord.
- De investering is omvangrijk en de onzekerheid groot.
- Geothermische energie in Nederland zit vaak erg diep.
- Bij boring van de putten bestaat een kleine kans op trillingen, die ervaren kunnen worden als een lichte aardbeving.
- Als de beide putten te dicht bij elkaar zitten kan het voorkomen dat het koude water vermengd raakt met het warme water en dit niet meer voldoende opwarmt.

2. De reserves van aardwarmte

[Jos Limberger](#) is enige tijd geleden aan de Universiteit van Utrecht gepromoveerd op de ontwikkeling van geothermie. Hij berekent dat wereldwijd de exploiteerbare hoeveelheid aardwarmte in de orde van grootte ligt van het totale jaarlijkse mondiale energieverbruik.

Uit de studie [WARM](#) die in opdracht van Energie Beheer Nederland (EBN) door Berenschot en Panterra Geoconsultants is uitgevoerd, blijkt dat het mogelijk om in Nederland 2,6 miljoen huizen en gebouwen (gelijk aan 88 PJ) met aardwarmte van warmte te voorzien.

Het opzetten van een grootschalig productiesysteem vereist grote investeringen. Wereldwijd hebben 49 landen samen in de periode 2014 – 2017 ongeveer \$20 miljard geïnvesteerd in geothermie. Om de verhoudingen te bepalen: Shell alleen al investeerde in die periode \$25 miljard in het zoeken naar nieuwe olievelden. Nederland heeft naar verhouding daaraan een forse bijdrage geleverd: In de eerste helft van 2018 alleen al is er bijna een half miljard toegezegd aan subsidie. Hier mag overigens het pionierswerk dat in de glastuinbouw is verricht, waar al enkele decennia aardwarmte wordt gebruikt, niet onvermeld blijven. Dit heeft veel kennis opgeleverd onder andere over het [vermijden van de risico's](#) bij het boren. Hetzelfde geldt voor het onderzoek naar het gebruik van [mijnwater](#) in Zuid-Limburg.

3. Midden- en hoge temperatuur warmte

In mei 2018 heeft het [Platform Geothermie](#) het *Masterplan aardwarmte in Nederland, een brede basis voor een duurzame warmtevoorziening* gepubliceerd, dat ertoe moet leiden dat aardwarmte samen met duurzame restwarmte en biomassa op substantiële wijze gaat bijdragen aan de toekomstige vraag naar warmte. De huidige productie van 3 petajoule neemt daarbij toe naar 50 petajoule in 2030 en tot meer dan 200 petajoule per jaar in 2050. Van deze 200 petajoule zal ongeveer 40% geleverd zal gaan worden via warmtenetten. Om dit doel te bereiken moet het aantal doubletten groeien van de huidige 14 naar 175 in 2030, en vervolgens naar 700 in 2050.



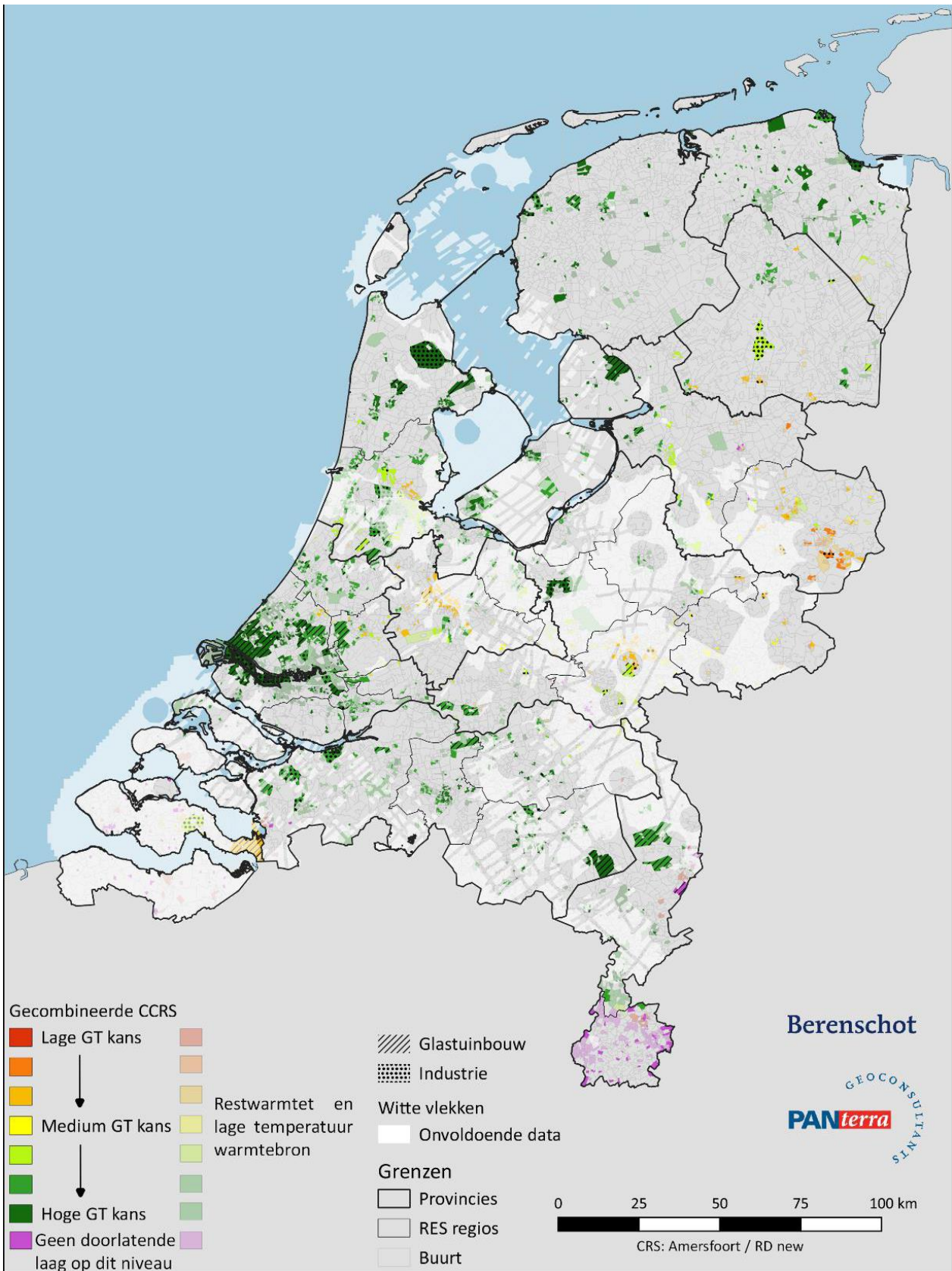
Boren naar ultradiepe aardwarmte (afbeelding Engie)

[Zes consortia](#) uit heel Nederland werken mee aan een grootschalig onderzoek naar ultradiepe geothermie. Engie werkt mee aan het onderzoek met de Universiteit Utrecht, het Universitair Medisch Centrum Utrecht, de Hogeschool Utrecht en de Stichting Kantorenpark Rijnsweerd. Samen vormen zij project GOUD. Voor de regio Utrecht kan ongeveer 60.000 ton CO₂ bespaard worden.

Door aanzienlijke schaalvergroting en professionalisering kunnen de kosten van het zoeken naar bronnen en de exploitatie daarvan aanzienlijk worden verlaagd.

Binnen het project WARM is een reeks [Detailstudies regionale potentie](#) uitgevoerd. Deze hebben de potentie voor aardwarmte als duurzame warmtebron voor elke Regionale Energie Strategie-regio onderzocht voor gebruik in de gebouwde omgeving (middellage en hoge temperatuur) voor de glastuinbouw en de industrie. Voor elk van de 35 regio's is het nodige kaartmateriaal beschikbaar wat een realistische inschatting van het gebruik van aardwarmte vergemakkelijkt. Mede op grond van de veelbelovende gegevens heeft Amsterdam onlangs een vergunning aangevraagd om met proefboringen te mogen starten.

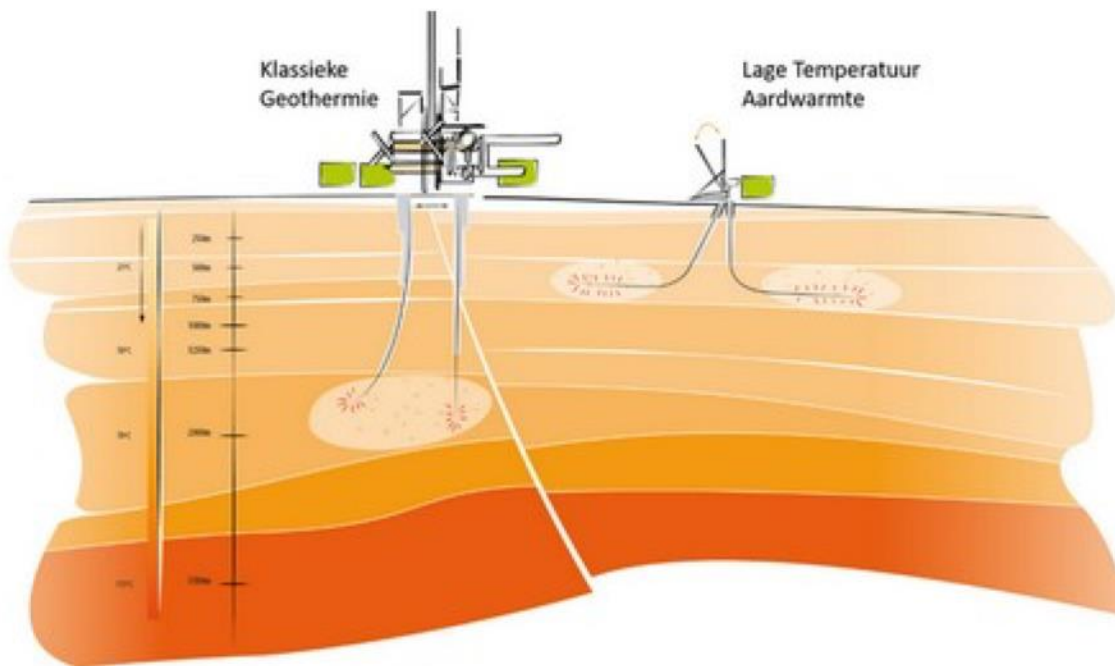
De kaart op de volgende bladzijde geeft een overzicht van waar in Nederland de meest kansrijke plaatsen liggen om aardwarmte te exploiteren.



Afbeelding: Samenvattende kaart: De groengekleurde oppervlakten zijn de kansrijke plaatsen voor minimaal midden temperatuur (MT) aardwarmte. Bron: [Eindrapport WARM](#)

4. Lage temperatuur warmte

Het gebruik van aardwarmte met lage temperatuur (afkomstig tussen 250 - 1250 meter onder het oppervlak) is een welkome aanvulling op de winning van aardwarmte vanuit diepere lagen. Voor deze laatste is het boren veel gecompliceerder en duurder. Voor de eerste is [horizontaal boren](#) mogelijk. Het [voordeel](#) is dat het boren van putten voor winning en retourstroom kan plaatsvinden vanaf één plek en de capaciteit wordt verhoogd (figuur boven). Bovendien is er al meer kennis van de beschikbaarheid van warmtebronnen met lage temperatuur in de ondergrond in vergelijking met bronnen op grotere diepte.

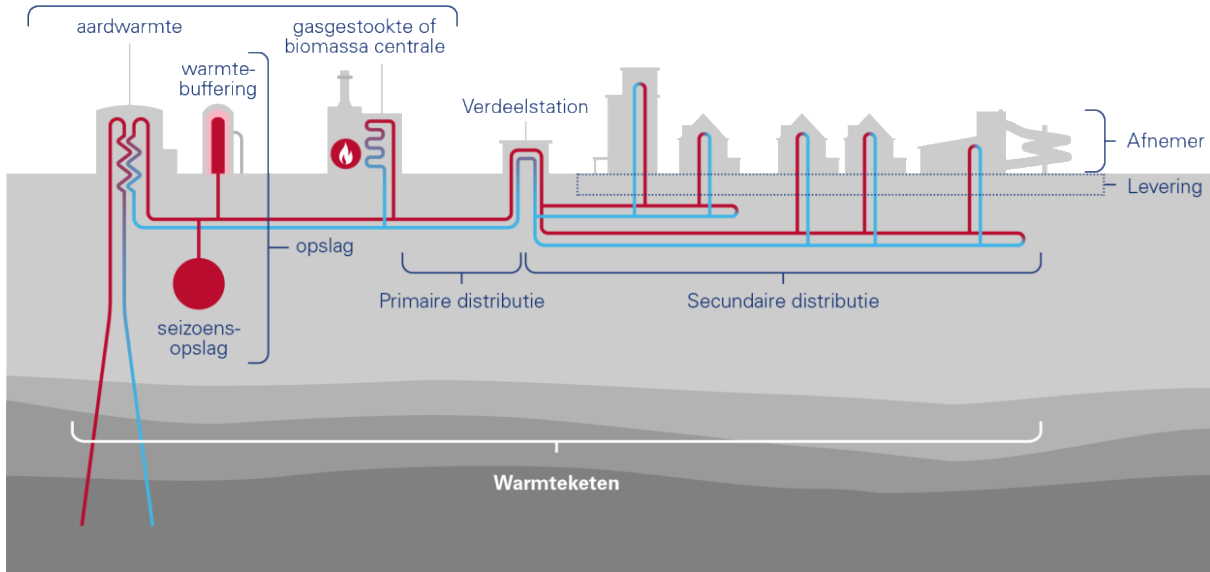


Afbeelding: Een vergelijking tussen standaard geothermisch boren en boren naar aardwarmte met lage temperatuur - Illustratie: Visser & Smit Hanab

Bij lage temperatuur warmte worden individuele of collectieve warmtepompen gebruikt om de temperatuur van het water te verhogen van naar 60°C. Dit maakt verwarming mogelijk van matig tot tamelijk goed geïsoleerde huizen (label B-C) zonder grote veranderingen in het verwarmingssysteem. Dit is een belangrijke toegevoegde waarde ten opzichte van all-electric oplossingen. Deze zijn vooralsnog alleen toepasbaar in zeer goed geïsoleerde huizen en gebouwen (label A – A++). In dit geval gebruiken warmtepompen buitenlucht en deze verwarmen het water tot ongeveer 30°C.

Nog interessanter is om zo'n systeem te integreren in *smart thermal grid*. Hierin wordt behalve lage temperatuur warmte ook industriële restwarmte gebruikt en opgeslagen. [CE Delft](#) stelt vast dat ongeveer 4,6 miljoen huishoudens in Nederland en ook veel bedrijven kunnen worden bediend door een dergelijk concept. Als de beschikbaarheid van industriële restwarmte vermindert, dan kan deze worden vervangen door warmer water uit dieper gelegen lagen 'bij te mengen'.

Voorbeeld van een bronnenmix



Voorbeeld van een smart thermal grid met een bronnenmix waarin aardwarmte een van de onderdelen is. Bron: [Eindrapport WARM](#)

Er is op veel plaatsen ter wereld en zeker in Nederland, sprake van een inhaalrace om de toepassing van aardwarmte op grote schaal mogelijk te maken. Had grootschalig onderzoek 20 jaar geleden begonnen, dan was het vertrouwen om op soepele wijze 'van het gas af' te kunnen gaan, aanzienlijk groter geweest.



Biomassa

Inleiding

1. Wat is biomassa?
2. Het gebruik van biomassa
3. Het debat over biomassa

Het kabinet vindt dat bij de realisering van een klimaatneutrale en circulaire economie een belangrijke rol is weggelegd voor duurzame biomassa. Het gebruik van biomassa vanuit een milieuoogpunt volgens sommigen onontkoombaar en volgens anderen verwerpelijk.

Er is aan de SER een advies gevraagd en die heeft het Planbureau voor de Leefomgeving ingeschakeld, waarover zo dadelijk meer. Eerst ga ik in op de vraag wat is biomassa en waarvoor wordt deze gebruikt.

1. Wat is biomassa?

In principe is biomassa alle stof van organische oorsprong, die organismen (vooral planten en dieren) produceren. Stoffen van organische oorsprong die door geologische processen zijn getransformeerd, zoals steenkool, olie, aardgas en kruit worden er niet toe gerekend. Er worden [drie productiestromen en rest- of nevenstromen](#) onderscheiden. Bij productiestromen gaat het om de opbrengst van de agrarische sector, de bosbouw en de visserij en alles wat daarvan wordt gemaakt.

Primaire reststromen omvatten alles dat tijdens de productie vrijkomt, zoals stro, mest en takken.

Secondaire reststromen omvatten alles wat vrijkomt tijdens het verwerkingsproces, zoals kaf, bietenpulp en zaagsel.

Tenslotte, tertiaire reststromen omvatten alles wat na gebruik van producten vrijkomt, zoals rioolwaterzuiveringsslip, GTF en zaagsel.



Het navolgende gaat over het al dan niet noodzakelijk zijn van productiestromen voor andere doelen dan het [voeden en kleden dan de mensheid](#). Te denken valt aan de productie van tarwe, suikerriet en -biet ten behoeve van de (bio)chemische industrie (bio-ethanol) ter vervanging van fossiele grondstoffen. Deze discussie spitst zich toe op de vraag of dergelijke productstromen concurrerend zijn met de voedselproductie, het areaal van de nog bestaande oerbossen verder verkleinen en meer in het algemeen schadelijk zijn voor de biodiversiteit.

Overigens betreft de vraag van het kabinet aan de SER een 'integraal duurzaamheidskader', waarbij terecht ook het duurzame karakter van de voedselproductie wordt betrokken.

Al meer dan 150 jaar produceert de Goudse vestiging van [Croda](#) (afbeelding) 'oleochemische' half-fabricaten uit hernieuwbare oliën en vetten. Deze hebben inmiddels een breed scala aan toepassingen gekregen zoals cosmetica, verf, coatings, smeermiddelen en plastics.

2. Het gebruik van biomassa

Behalve voor voeding en kleding kan biomassa worden toegepast als grondstof en hoge temperatuur warmte voor de chemische industrie, biobrandstof, verwarming in de vorm van groen gas voor de gebouwde omgeving en glastuinbouw, elektriciteit, materialen (hout, stro, riet, vlas en hennep) en bodemverbeteraar in de landbouw.

Het gaat bij het gebruik van biomassa veelal niet om één techniek, maar om een combinatie van verschillende technieken en verschillende toepassingen. Dit heet [meervoudige verwaardig](#) in samenhang met cascadering; dat is hoogwaardig gebruik van de biomassa. Daarom werken AkzoNobel, Cosun, DSM, Energy Academy Europe, Energieonderzoek Centrum Nederland, FrieslandCampina, Gasunie, Groen Gas Nederland, Havenbedrijf Rotterdam en diverse ministeries samen aan een aantal projecten.

Een daarvan is de [bioraffinaarderij](#) die RWE, Nouryon, Avantium, AkzoNobel, Chemport Europe en Staatsbosbeheer opzetten in Delfzijl. Avantium ontwikkelt daar recyclebare bioplastics, Nouryon maakt er grondstoffen voor de chemische industrie en RWE gebruikt de reststoffen uit de fabriek voor duurzame energieopwekking. De gebruikte biomassa omvat zijn lokaal verkregen houtsnippers, i.s.m. Staatsbosbeheer) en pulp en bijproducten uit de landbouw.

Diverse biobased-toepassingen zijn al concurrerend met producten van fossiele herkomst. Dit vooral vanwege hun unieke eigenschappen en veel minder vanwege de kostprijs. Biobased PET en het nieuwe biopolymeer PLA (ook biologisch afbreekbaar in speciale afvalverwerkingsinstallatie!) kent momenteel de snelste marktgroei³.



Het [AkzoNobelterrein in Delfzijl](#)

Gas blijft als grondstof en brandstof van wezenlijk belang voor de chemische industrie. De geschatte behoefte aan gas, nadat Nederland 'van het gas af' is, wordt geschat op ruim 2 miljard kubieke meter. Door superkritische watervergassing, een proces ontwikkeld door de Gasunie en SCW Systems kan de hoeveelheid geproduceerd gas uit een hoeveelheid natte biomassa, zoals rioolslib en mastoverschotten, vervijfvoudigd worden ten opzichte van de gangbare vergistingstechniek. De CO₂-uitstoot van dit gas is 35% lager is dan die van aardgas.

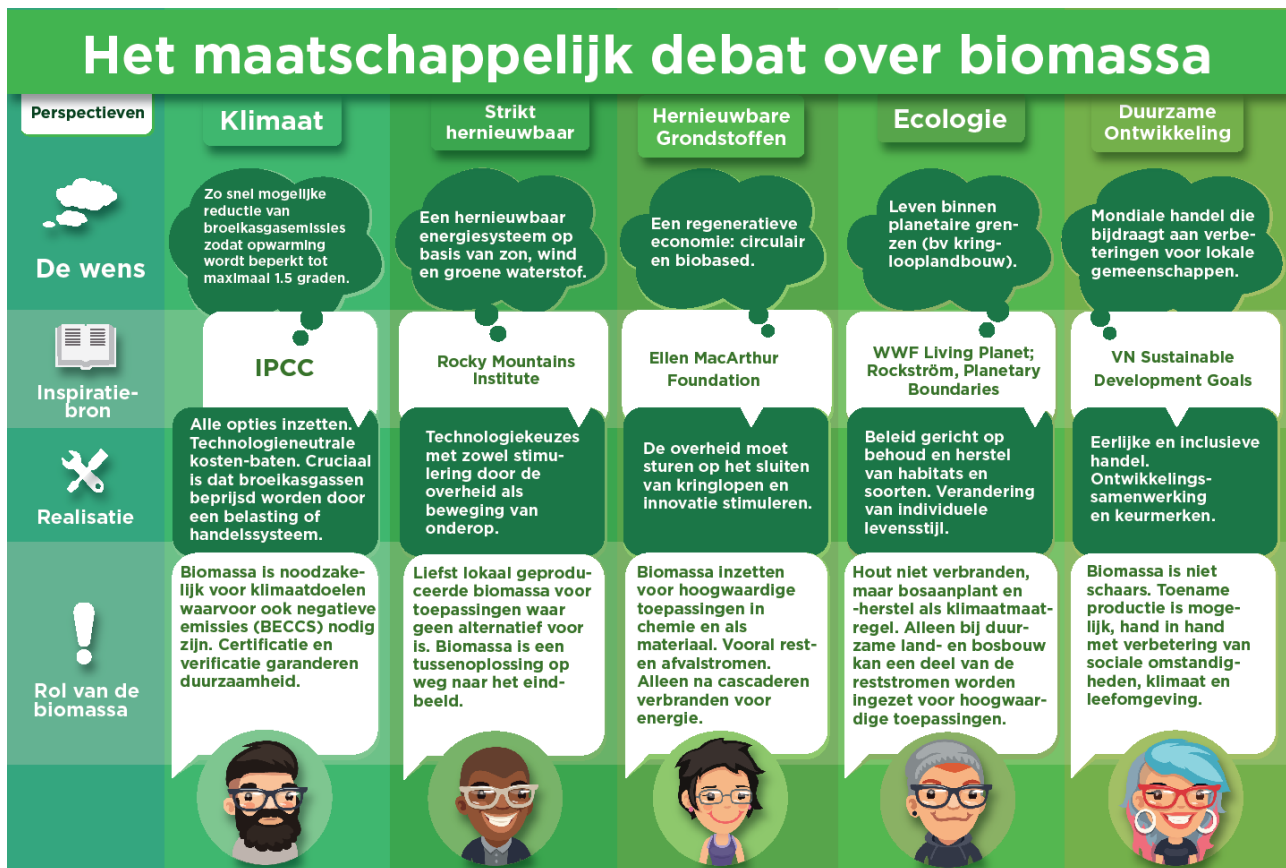
Bioraffinage vormt het equivalent in de biobased economy van de huidige olieraffinaderijen. De duurzaamheid van deze technologie staat op zich niet ter discussie bij gebruik van materiaal dat er toch al is. Als het materiaal speciaal voor dit doel wordt gemaakt, bijvoorbeeld palmolie, dan ontstaat er terecht veel meer discussie.

Zo bleef de discussie bij de bouw van de [BioWarmte Installatie Lage Weide](#) van Eneco beperkt. De installatie draait op duurzaam verkregen houtafval uit regulier park-, plantsoen- en bosonderhoud in de regio". Deze installatie zal uiteindelijk 40 procent van de huidige warmteproductie voor de stadswarmte in Utrecht en Nieuwegein gaan verzorgen. Daarentegen heeft [Milieudefensie](#) overwegende bezwaren tegen de vestiging van een biodiesel raffinaderij in Rotterdam vanwege het feit dat daarvoor palmolie wordt gebruikt, die mede afkomstig is van plantages op 10.000 hectare gepakt bosgebied.

³ In hoofdstuk 3 'De circulaire stad' van mijn boek 'Steden van de toekomst. Humaan als keuze. Smart waar dat kan' ga ik uitgebreid in op de begrippen bio-based en biologisch afbreekbare kunststoffen. Dit boek kan worden gedownload via: <https://www.dropbox.com/s/ytdadwgdsw6zke/Looking%20for%20the%20city%20of%20the%20future%20NL.pdf?dl=1> Er is een beperkt aantal hardcopy's (180 p) beschikbaar. Maak daarvoor €20,00 over op IBAN NL35INGB0001675550 t.n.v. H. van den Bosch o.v.v. naam en adres en het boek wordt per omgaande toegestuurd.

3. Het debat over biomassa

Er bestaat brede overeenstemming over het feit dat de Parijse akkoorden niet haalbaar zijn zonder het gebruik van biomassa. Omdat het gebruik van biomassa veel weerstand oproept heeft het kabinet de SER om advies gevraagd, die het [Planbureau voor de leefomgeving](#) daarbij heeft ingeschakeld. Het planbureau heeft op zijn beurt aan De Gemeynd en aan MSG Sustainable Strategies gevraagd om de verschillende standpunten en de daarbij gebruikte argumenten in kaart te brengen. Dit heeft geleid tot een vijftal perspectieven, waarbinnen uiteenlopende argumenten relevant zijn, die het PBL uitvoerig documenteert en confronteert met recent wetenschappelijk onderzoek.



De weerstand tegen biomassa kent verschillende gradaties:

- Voor- en tegenstanders zijn het erover een dat er is een blijvende is weggelegd voor biomassa weggelegd als materiaal (papier, karton en zaaghout voor de bouw en als vervanging van beton en staal) en als grondstof voor de chemie.
- Als energetische toepassing onvermijdelijk is om de duurzame energie- en klimaatdoelstellingen te halen, dan vindt een deel van de tegenstanders dat dit moet gebeuren waar weinig of geen alternatieven beschikbaar zijn, zoals in de lucht- en zeescheepvaart.
- Biomassa die afkomstig is van buiten Europa staat onder ernstige verdenking niet afkomstig te zijn uit duurzame bronnen, maar uit plantages waarvoor oerbos is gekapt. Het wantrouwen is minder wanneer deze afkomstig is uit Nederland en eventueel de Europese Unie.
- Tegen het gebruik van biomassa voor de opwekking van elektriciteit of warmte zijn veel bezwaren. Mede ook vanwege de schaal waarop dit gebeurt. Biomassa was in 2019 goed voor 50 procent van de 'groene stroom' en 80 procent van de 'groene warmte'.

De meest fundamentele vraag is waarom biomassa een duurzame energiebron wordt genoemd, terwijl bij verbranding ervan ook CO₂ vrijkomt. Het [antwoord](#) is dat deze vrijgekomen CO₂ eerder door de verbrande biomassa was opgeslagen. Verbranding veroorzaakt dus geen nieuw CO₂. Dit antwoord heeft veel van een gelegenheidsargument, maar het wordt wereldwijd gebruikt omdat andere de Parijse akkoorden vrijwel zeker onhaalbaar zouden zijn⁴: In 2019 zorgde biomassa in Nederland voor 50 procent van de groene stroom en 80 procent van de groene warmte.



De acceptatie van bovenstaande redenering, zou acceptabel kunnen zijn als er zekerheid bestond over de duurzaamheid van de biomassa. Met andere woorden dat haar productie niet het gevolg was van kap van oerbos of verdringing van de productie van landbouwgewassen en er waarborgen tegen verlies aan biodiversiteit zijn. Waakzaamheid is hier geboden omdat tussen 2004 – 2017 in een [24 tal 'hotspots'](#)

in Afrika, Zuid Amerika en Azië 43 miljoen hectare natuur is vernietigd (10 x Nederland). De nevenstaande foto toont [Regenwoud in Borneo](#) dat plaats maakt voor palmolieplantages. WWF Zweden.

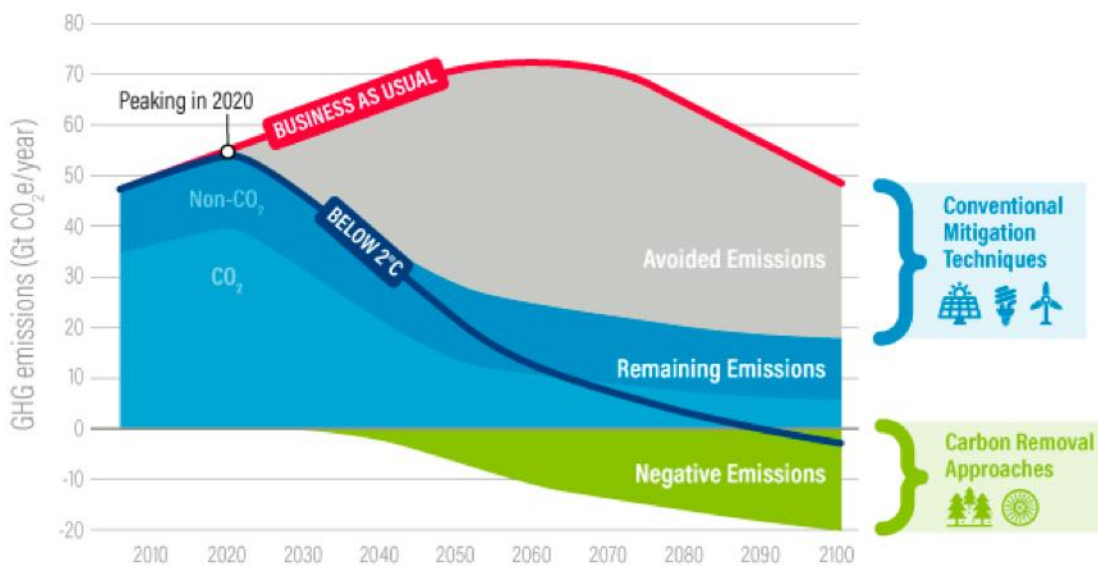
De discussie over biomassa kan eindigen in een patstelling of in een werkbaar compromis. In al zijn eenvoud houdt dit in biomassa te beschouwen als duurzame energie, zolang onomstotelijk vaststaat dat de gebruikte materialen duurzaam zijn geproduceerd en het gebruik van biomassa voor de productie van elektriciteit of warmte tot een nader te bepalen tijdstip geldt als een tussenoplossing.

⁴ Het argument is op zich valide, als het CO₂ betreft die vrijkomt uit de verbranding van biomassa die jonger is dan 1990., het basisjaar voor de berekening van de vermindering van de CO₂-uitstoot.



Verwijderen, opvangen en opslaan van CO₂

De meeste klimaatwetenschappers het erover eens zijn dat met beperking van de CO₂-uitstoot alleen, de Parijse doelstellingen niet gehaald worden. Het gezaghebbende *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) benadrukt de noodzaak van 'negatieve emissie' zelfs tot ver in de 22^{ste} eeuw, in aanvulling op alle voorgenomen inspanningen om de uitstoot van broeikasgassen terug te brengen. Het is immers niet de CO₂-uitstoot zelf die de opwarming van de aarde veroorzaakt, maar de ontzaglijke hoeveelheid CO₂-equivalenten die zich inmiddels in de atmosfeer bevindt.



Negatieve emissies – bron: World Resources Institute

Verwijderen van CO₂ kan op natuurlijke en op kunstmatige wijze. Planten, bossen, de aarde en de oceanen nemen elk jaar ongeveer de helft op van de geproduceerde CO₂. Probleem is dat de opnamecapaciteit van de aarde daalt door het kappen van bossen en de geïndustrialiseerde landbouw. Maar ook dat de zeeën steeds zuurder worden wat ten koste gaat van het zeeleven, denk aan de koraalriffen. Stoppen met de kap van bestaande bossen en radicale verandering van het agrarisch bodemgebruik zijn essentieel. Aanplant van nieuwe bossen ook, vooral met het oog op de toekomst.

Methoden om CO₂ uit de lucht te verwijderen

Hoe kan, behalve door de natuur zelf, koolstof aan lucht en water worden onttrokken? Een betrekkelijk eenvoudige, maar kostbare techniek is DACS, direct air capture with storage, het op grote schaal filteren van de lucht (Zie titel afbeelding). Een veelbelovende methode leek het stimuleren van de groei van algen met 'ijzerbemesting' van de zeewateren. Algen leggen CO₂ vast en na hun dood zouden ze zinken naar de bodem van de oceaan, ware het niet dat voor het zover is, ze al fungeren als visvoer en in de voedsel kringloop terecht komen. Het mineraal olivijn bindt eveneens CO₂ maar daarvan zijn dan miljarden tonnen per jaar nodig. Eenvoudiger is de kunstmatige ondergrondse productie van houtskool (biochar). Ook zijn er kunstmatige bomen ontworpen die 33x zo veel CO₂ uit de lucht halen dan gewone bomen, dat vervolgens opgeslagen kan worden.

Opvang bij de bron en opslag (CCS)

Het gaat hier om te voorkomen dat geproduceerd CO₂ in lucht of water komt. Vaak genoemd wordt het uitbreiden van de productie van biogas en daarbij vrijkomend CO₂ afvangen (BECCS; bioenergy with carbon capture and storage). Deze methode ondervangt niet het groeiende bezwaar tegen biomassa zelf, namelijk het permanente risico dat de productie ervan ten koste gaat van de voedselproductie en met name van bosgebieden (zie mijn volgende blogpost).

Zeker voor Nederland geldt dat er voldoende aanleiding is om in een aantal industrieën CO₂ op te vangen. Tegenstanders vrezen dat dit deze industrieën in dat geval minder haast maken met de ontwikkeling van koolstofvrije productietechnieken. Uit [onderzoek](#) van de universiteit van Delft in opdracht van Natuur & Milieu, blijkt dat vooral in de ijzer- en staalindustrie en bij waterstof- en ammoniakproductie koolstofvrije productietechnieken nog op zich zullen laten wachten. Hier is CCS aan de orde. Het Klimaatakkoord begrenst de subsidiëring van CCS voor de ontwikkeling van dergelijke technieken, waarmee een deel van de bezwaren wordt ondervangen. Verder is in het akkoord afgesproken dat de opslag van afgevangen CO₂ in voormalige gasvelden onder de zeebodem zal plaatsvinden.

De ontwikkeling van CCS gaat vooralsnog traag vanwege de financiële risico's. Porthos is een van de weinige consortia die ermee begonnen is. Dit is een joint venture van het Havenbedrijf Rotterdam, de Gasunie en EBN die in 2024 de eerste CO₂ onder de grond kan brengen.



Kernsplitsing en kernfusie

Inhoud

1. kernsplitsing
2. Kernfusie

In mijn studententijd heb ik als vanzelfsprekend meegekregen dat kernenergie verwerpelijk is. Dat was zelfs nog ver voor de rampen in Tsjernobyl en Fukushima. Het was ook makkelijk om tegen te zijn: De beschikbaarheid van conventionele energiebronnen leek geen probleem, zeker niet in Nederland met zijn schijnbaar onuitputtelijke hoeveelheid aardgas. Op de lange termijn zou kernfusie de oplossing zijn.

1. Kernsplitsing

Vanaf de eeuwwisseling groeide het besef dat we van de conventionele energiebronnen moeten afstappen vanwege de catastrofale gevolgen van de uitstoot van CO². Ik keek met bewondering naar Duitsland waar de ene windmolen naast de andere verrees en op alle daken zonnepanelen verschenen. Maar is dat voldoende?

Velen denken van niet: De groeiende groep – waartoe in elk geval de huidige regering behoort – wil snel de optie van kernsplitsing onderzoeken en daarmee wat minder windmolens of zonnepanelen te hoeven aanleggen: Een grote kerncentrale van 2000 megawatt staat immers qua vermogen gelijk aan 200 grote windmolens van 10 megawatt op zee. Wat zou dit onderzoek kunnen opleveren?

Mijns inziens moet het gevaar van verdere groei van de uitstoot van CO₂ even serieus worden genomen als een ramp met een kernenergiecentrale. Dit was aanleiding om me – wellicht voor het eerst – onbevooroordeeld(?) te verdiepen in de argumenten van de voor- en tegenstanders.

A. Ruimtelijke ordening

Theoretisch kunnen we in Nederland zo veel windmolens bouwen en zonnepanelen leggen als nodig zijn om te voorzien in onze energiebehoefte, inclusief warmtevraag en de productie van waterstof om pieken op te vangen. We boffen dat we daarvoor de hele Noordzee vol kunnen bouwen met enorme windmolens en we moeten dan niet kieskeurig zijn met de plaatsing van windmolens op land en de aanleg van vele km² grondgebonden zonnepanelen.

Voor de laatstgenoemde opties roepen veel weerstand op en dan is het verleidelijk om te kiezen voor één grote kerncentrale van 2000 MW in plaats van 200 grote windmolens van 10 MW elk. In 2016 ging de milieuactivist Michael Shellenberger om. Enige tijd later was hij in Nederland en De Telegraaf gaf hem een podium: 'Met tien kerncentrales is Nederland klaar.' Hij bepleit zelfs een wereldwijd moratorium op nieuwe windparken. Overigens zal het nog niet zo makkelijk zijn om te bepalen waar in Nederland een of twee, laat staan tien kerncentrales moeten komen te staan. Opvattingen over kernenergie kunnen heel lokaal zijn. Bijvoorbeeld in Finland nemen de groenen deel aan de regering. Ze propageren kernenergie en steunen de bouw van ondergrondse eindopslag.

De aantrekkingskracht van kernenergie is voor een belangrijk deel afhankelijk van de inschatting van de risico's ervan, de mogelijkheid van een veilige eindberging van kernafval en de kosten. Aan elk besteed ik enige aandacht.

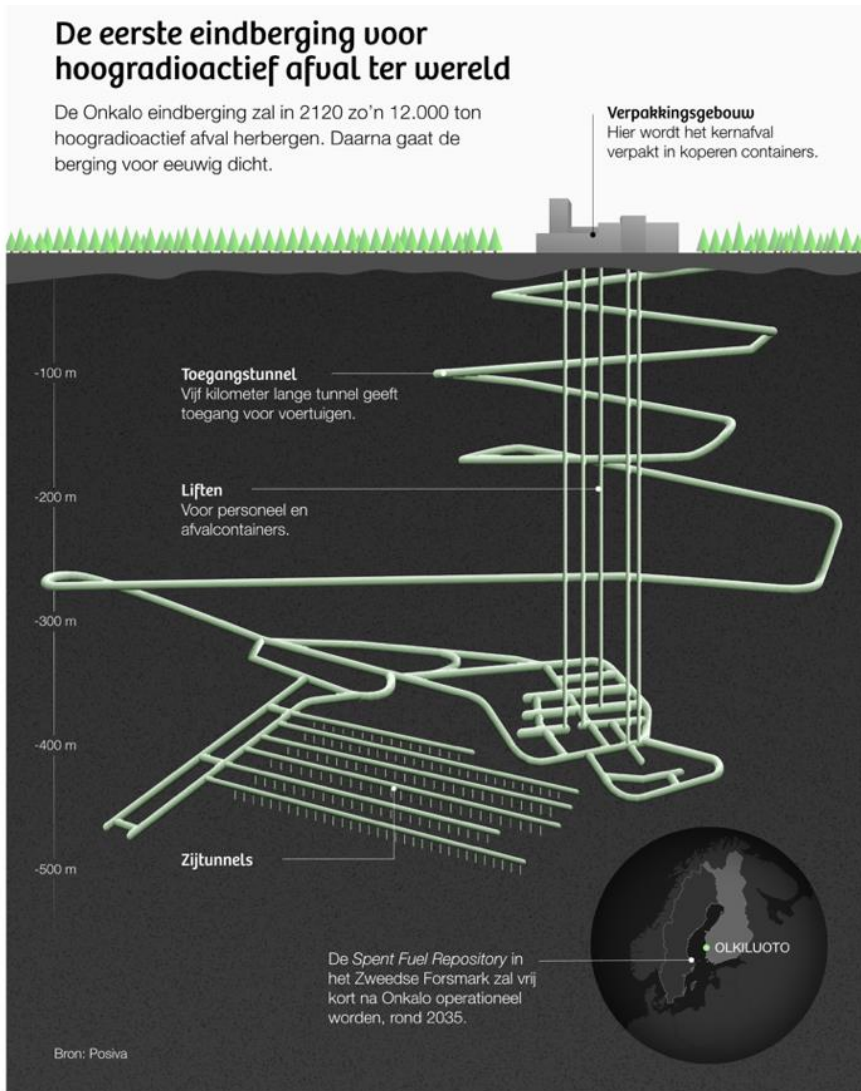
B. De risico's van kernenergie

De impact van een ramp met een kerncentrale is enorm. Vaak wordt gezegd dat er 'slechts' twee grote ongelukken hebben plaatsgevonden. Drie als je het ongeluk met de Amerikaanse centrale op Three Miles eiland meetelt. De *International Nuclear Event Scale* (INES), die zeven niveaus onderscheidt, rangschikt de eerste twee ongelukken op het hoogste niveau en het laatste op niveau 5. Maar bij deze drie is het niet gebleven. De Amerikaanse onderzoeker [Benjamin Sovacool](#) heeft een inventarisatie gemaakt van alle incidenten met kerncentrales waarbij er meer dan \$50.000 schade is geleden en/of minstens één dode is gevallen. Sinds 1952 waren dit er 108, vooral in de Verenigde Staten (58), maar ook in Frankrijk (13) en Japan (8). Waarschijnlijk zijn het er meer. Een aantal incidenten had slecht kunnen aflopen en sommige incidenten zijn bij toeval voorkomen. De ramp in Fukushima is niet het rechtstreekse gevolg van de tsunami, maar van een domme constructiefout: De noodstroom-aggregaten die de pompen van energie hadden moeten voorzien, stonden in de kelder en kwamen als eerste onder water te staan.

Alle centrales die de afgelopen decennia zijn gebouwd worden veel veiliger beschouwd dan de zogenaamde tweede generatie centrales van Tsernobył en Fukushima.

C. Ondergronds afval

Opbergen van afval hoeft [geen probleem](#) te zijn. In Finland is een eindberging gebouwd in granieten rotsen diep onder de grond ([afbeelding](#)). Nederland heeft voor ondergrondse berging eveneens gunstige omstandigheden, namelijk diepe kleilagen. Het voordeel daarvan boven graniet is dat deze plastisch zijn en elke scheur zelf herstellen waardoor het materiaal ondoordringbaar is voor bodemwater. Ook de hoeveelheid afval in Nederland is beperkt. Mocht de centrale in Borsele in 2033 sluiten dan is in Nederland ongeveer 450 km³ afval. Dit is nu bovengronds opgeborgen in Borsele.



D. Kosten

Een nieuw rapport van het MIT, [The Future of Nuclear Energy in a Carbon Constrained World](#), gaat uitgebreid in op de kosten van kernenergie. Volgens prof. Jacopo Buongiorno is kernenergie veel duurder dan alle andere energiebronnen. De prijs van een centrale met een vermogen van 2000 megawatt is ongeveer €13,5 miljard. Ter vergelijking: 200 grote windmolens met een vermogen van 10 megawatt kosten samen €5 miljard inclusief aansluiting.

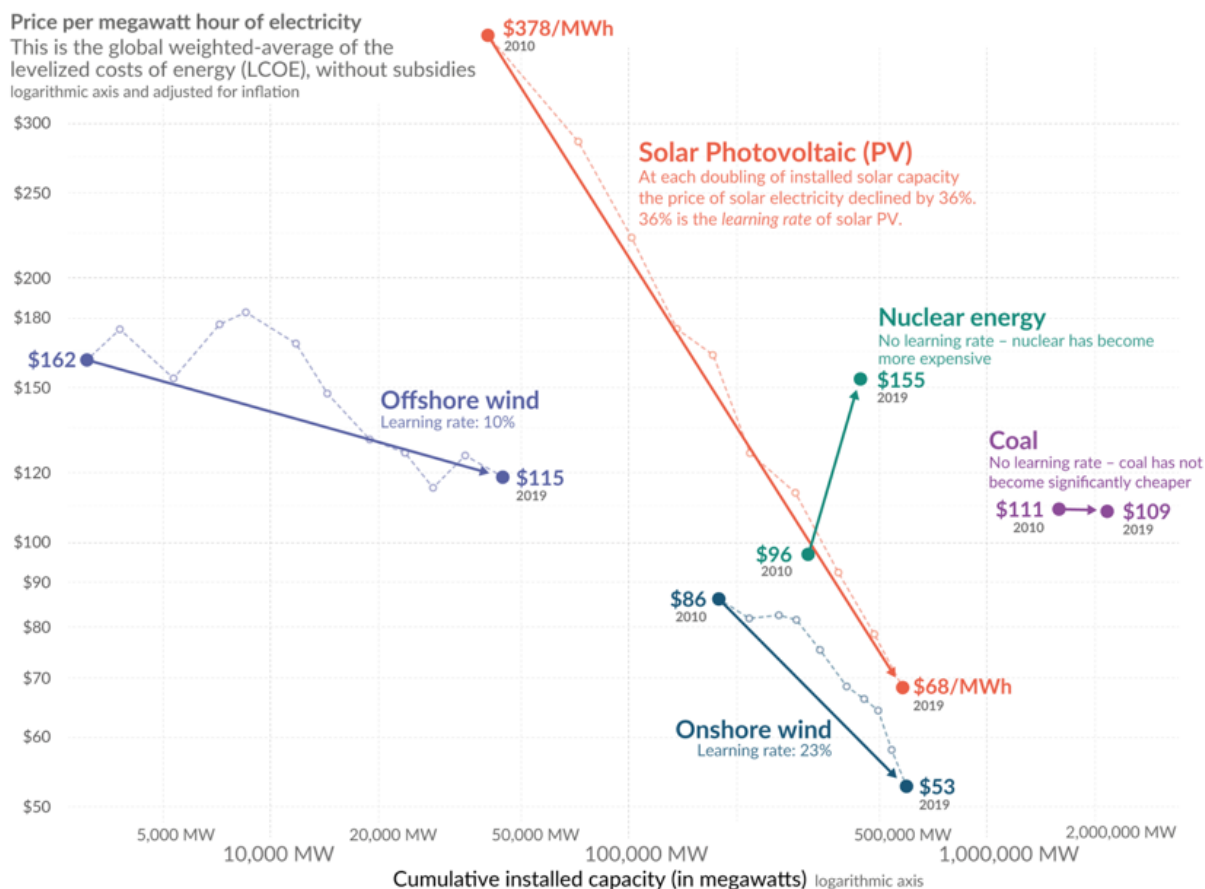
Dit geldt voor de VS en Europa in hogere mate dan voor China en Zuid-Korea om de eenvoudige reden dat in de eerstgenoemde landen geen expertise op het gebied van de bouw van kerncentrales meer aanwezig is.

Daarom zou de Wylfa kerncentrale (3 GW) in Noord-Wales gebouwd worden door het Japanse bedrijf [Hitachi](#). Dat heeft in 2019 besloten met de bouw te stoppen en een verlies van €2,3 miljard voor lief te nemen. De reden is dat de prijs per kilowattuur die de overheid 35 jaar lang zou betalen [onvoldoende](#) is om de olopende kosten van de bouw en de exploitatie te dekken. Deze prijs lag al aanzienlijk boven de huidige marktprijs van elektriciteit, waardoor de overheid het gebruik van kernenergie al die jaren zou subsidiëren. Hitachi ziet ook af van de bouw van een vergelijkbare centrale in het Britse Oldbury.

[Finland](#) bouwt sinds 2005 aan een nieuwe centrale in Olkiluoto. Die had er volgens de oorspronkelijke plannen al in 2009 moeten staan, voor een bedrag van €3,2 miljard. Nu hoopt men volgend jaar klaar te zijn; de kosten zijn meer dan verdrievoudigd tot €11 miljard.

[Frankrijk](#) begon in 2007 met de bouw van een nieuwe centrale in Flamanville, aan de westkust van Normandië. Die had in 2012 klaar moeten zijn, à raison van €3,3 miljard. De laatste schatting van de kosten is ruim €19 miljard en ook deze centrale moet volgend jaar draaien.

Het onderstaande overzicht toont de [ontwikkeling in de tijd van de marktprijzen](#) voor verschillende energiebronnen.



Source: IRENA 2020 for all data on renewable sources; Lazard for the price of electricity from nuclear and coal – IAEA for nuclear capacity and Global Energy Monitor for coal capacity. Gas is not shown because the price between gas peaker and combined cycles differs significantly, and global data on the capacity of each of these sources is not available. The price of electricity from gas has fallen over this decade, but over the longer run it is not following a learning curve.

OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

Licensed under CC-BY by the author Max Roser

Een ander kostenaspect is de verzekering (of de afwezigheid ervan) De schade die veroorzaakt is door de ramp van Tsjernobyl is onbekend, maar die in van Fukushima bedraagt volgens Bloomberg rond de \$80 miljard. Dat roept de vraag op wie deze betaalt en hoe hoog de [verzekeringskosten](#) zouden zijn. In de praktijk zal de schade niet verzekerd worden en draaien de betrokken staten ervoor op. Mocht de schade wel te verzekeren zijn, dan wordt de prijs per kilowattuur verdrievoudigd.

Een centrales van 2000 megawatt kost tussen de €10 – 15 miljard . Dat is veel geld, maar vooralsnog durf ik me op grond van dit bedrag alleen nog niet tot de voor- of tegenstanders te rekenen. Wat ik mis in alle publicaties over de energietransitie, is een overzicht van de integrale kosten van alle alternatieven. Het gaat dan niet alleen om de prijs van kerncentrales versus windmolens, maar ook om alle bijkomende kosten, zoals de verzwaaring van het elektriciteitsnet, afvang en opslag van CO₂ en/of kernafval, de verschillen tussen de kostprijs van de verschillende energiesoorten (zie bovenstaand schema), de kosten voor de verzekering van kerncentrales, de kosten van energieopslag, de prijs van geïmporteerde waterstof en de voordelen van het gebruik van het bestaande aardgasnet voor het transport van (waterstof)gas et cetera.

Er is nóg een alternatief - ook niet goedkoop - maar wel schoon en risicoloos, namelijk kernfusie

2. Geen kernenergie maar kernfusie?

Kernfusie is voor veel wetenschappers en politici de gedroomde oplossing voor de toekomstige energievoorziening. De benodigde grondstof (waterstof) kan onbeperkt worden gemaakt, de CO₂-uitstoot is minimaal en het vrijkomende helium is geen probleem. Overigens ligt helium aan de basis van alle leven op de aarde. Alle stoffen die we kennen, van koolstof, ijzer tot water zijn uiteindelijk door fusie uit helium ontstaan. De zon stoot die deeltjes uit en in de loop van miljarden jaren ontstonden zo de planeten. Het is dus zeer wel denkbaar dat de basis voor menselijk leven ook daar aanwezig is.



De zon nabootsen

Het plaatje is een impressie van de kernfusiereactor van General Fusion in Engeland. [Kernfusie](#) is gebaseerd op het natuurkundige proces dat in de zon plaatsvindt. Bij kernfusie smelten waterstofatomen samen waarbij veel energie vrijkomt. Normaal gesproken stoten waterstofatomen elkaar af, maar binnenin de zon zorgt de hoge druk voor een dermate hoge versnelling dat ze botsen en

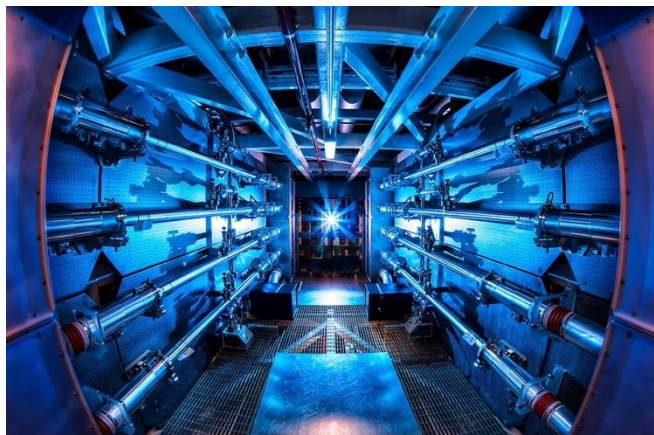
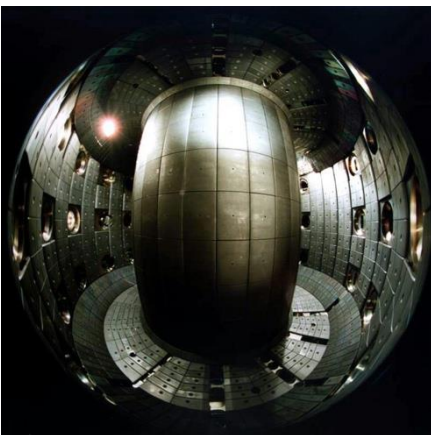
samensmelten. De zon zet per seconde ongeveer 700 miljoen ton waterstof om in 695 miljoen ton helium. Het verschil zit in de vrijgekomen energie.

Terug naar aardse verhoudingen: Verbranding van een kilogram steenkool levert 64 kilowattuur aan energie op. Splitsing van een kilogram uranium resulteert in 24 miljoen kilowattuur en fusie binnen een kilogram waterstof 235 miljoen kilowattuur! Het zal meer tot de verbeelding spreken dat een kilogram waterstof alle Nederlandse huishoudens gedurende 3 jaar van elektriciteit kan voorzien.

Te mooi om waar te zijn?

Zo is lijkt het ook. Het [ITER-project](#) in Frankrijk met als doel een werkende kernfusiereactor te ontwikkelen loopt al vele decennia. Hieraan werken deskundigen uit de EU, VS, China, India, Zuid-Korea, Japan en Rusland mee. Het heeft tot dusver meer dan €20 miljard gekost en concrete resultaten zijn nog veraf. De opgave is dan ook gigantisch: Waterstofatomen moeten zo'n hoge snelheid krijgen dat ze botsen en samensmelten. Hiervoor is een temperatuur van 100 miljoen °C nodig en dat kost dus een enorme hoeveelheid energie.

Toch is het al een aantal malen gelukt om waterstofatomen te laten fuseren. Twee voorbeelden zijn de Tokamak en de National Ignition Facility (NIF) (zie afbeeldingen). De eerste gebruikt krachtige magneten en de tweede een extreem sterke laser. Het probleem is echter dat het vooralsnog veel meer energie kost om waterstofatomen te laten fuseren dan dat daardoor vrijkomt. Onlangs vestigde een NIF-reactor een record door het rendement tot 70% op te voeren. Dat wil zeggen dat de teruggewonnen energie 70% van de gebruikte energie is. Dit geldt als zeer hoopvol omdat dit 8 maal zo hoog is dan in een voorafgaand model. 100% ligt binnen handbereik, maar is uiteraard nog veel te weinig.



Binnenkant Tokamak-reactor (links) en van de National Ignition Facility (NIF) rechts

Hoopvolle ontwikkelingen

Het Canadese bedrijf [General Fusion](#) gaat in Engeland een demonstratiereactor bouwen op basis van het NIF-model. Deze reactor zal aanzienlijk kleiner zijn dan bij andere experimentele reactoren gebruikelijk is. De eerste commerciële reactor zou er in 2028 kunnen zijn en een vermogen hebben van 200 megawatt en € 400 miljoen kosten. Jeff Bezos is een van de financiers.

Zeer recent kwam er ook iets van witte rook uit de laboratoria van de [NASA](#). Hier zou een nieuwe manier zijn uitgevonden die de kernfusie bijna binnen handbereik brengt.

Het is hachelijk om voorspellingen over wanneer we over kernfusie-energie kunnen beschikken en de prijs daarvan. Maar hoopvol is de ontwikkeling zeker. Opschalen naar grotere reactoren zalook in het meest noptimistische scenario veel tijd en geld kosten. Het vertrouwen groeit, dat kernfusie een reële mogelijkheid is waarmee na een of twee decennia rekening gehouden kan worden.

Als we kiezen voor een of twee conventionele kerncentrales, dan zouden die er op zijn vroegst halverwege de jaren '30 kunnen zijn na een ongetwijfeld tumultueus besluitvormingsproces. Tegelijkertijd zullen we moeten investering in de ontwikkeling van kernfusie.

Voordat ik tot een conclusie kom, ga ik in het laatste hoofdstuk in op de potentie van waterstof als middel om elektriciteit te maken in perioden dat zon- en wind tekortschieten, als grondstof voor de zware industrie en als alternatief voor aardgas.



Waterstof

Inhoud

1. De productie van waterstof
2. Het potentiële aanbod van groene waterstof
3. Opslag en transport
4. Opslag van elektriciteit
5. Overige toepassingen van waterstof
6. Naar een waterstofbeleid

Waterstof wordt steeds meer beschouwd als de ontbrekende schakel in de energietransitie. Van overtollige duurzame energie kan waterstof worden gemaakt. Deze kan makkelijk worden bewaard en als er een tekort is aan elektriciteit, fungeert waterstof als grondstof. Bovendien gaan naar verwachting landen met veel zon over een aantal jaren op grote schaal waterstof exporteren. Daarnaast is waterstof een belangrijke grondstof voor de zware industrie, kan ze voor transportdoeleinden worden gebruikt (luchtvaart) en kan ze aardgas vervangen. In dit hoofdstuk zal de nadruk liggen op de rol van waterstof als opslagmedium.

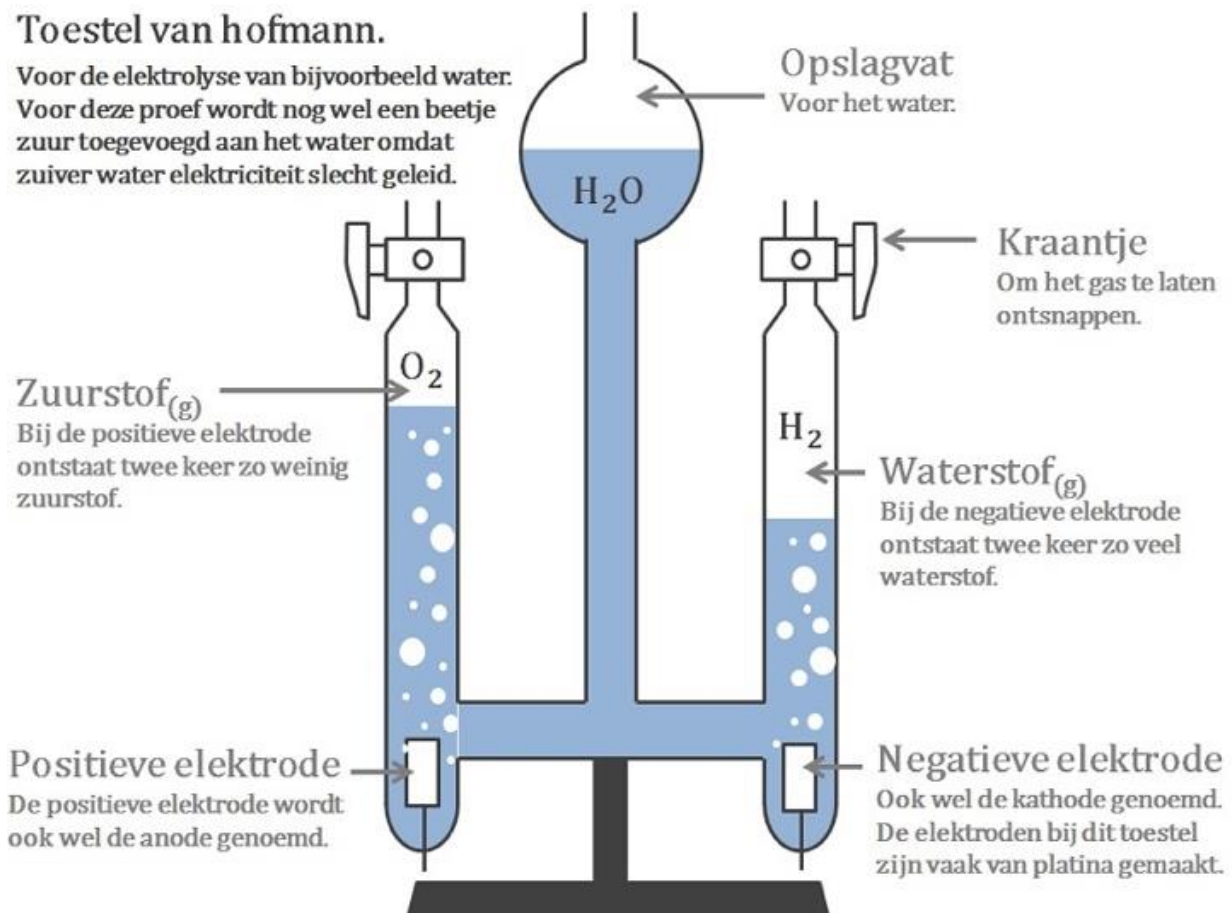
1. De productie van waterstof

Waterstof (H₂) wordt gemaakt door elektrolyse van water en veel elektriciteit. Als groene stroom wordt gebruikt spreken we van 'groene waterstof'. Je hoort ook vaak de termen grijze en blauwe waterstof. Hierbij komt in tegenstelling tot groene waterstof CO₂ vrij. Grijze waterstof ontstaat door verbranding van aardgas, aardolie of kolen. Uit dit proces ontstaat behalve waterstof ook CO₂. Als de vrijgekomen hoeveelheid CO₂ wordt afgevangen, gebruikt of opgeslagen, spreken we van blauwe waterstof.

Dit [filmpje](#) gaat in op het proces van elektrolyse en legt ook uit waar deze kleuren voor staan.

Toestel van Hofmann.

Voor de elektrolyse van bijvoorbeeld water. Voor deze proef wordt nog wel een beetje zuur toegevoegd aan het water omdat zuiver water elektriciteit slecht geleid.



Het proces van elektrolyse

2. Het potentiële aanbod van groene waterstof

Nederland kan op grote schaal waterstof produceren met behulp van groene elektriciteit uit wind-op-zee. [Schattingen](#) van de maximaal beschikbare capaciteit daarvan variëren tussen 60 - 72 gigawatt. Deze capaciteit lijkt ruimte te bieden voor productie van maximaal 800 petajoule groene waterstof. De prijs zou dan ongeveer uitkomen op €3,38 inclusief transport, ervan uitgaande dat elektrolyse plaatsvindt op zee. Of dit duurder is dan conventionele brandstoffen hangt af van de hoogte van de CO₂-beprijzing van laatstgenoemde. Op termijn zeker niet.

PosHYdon is een proefproject op zee om daar opgewekte elektriciteit onmiddellijk om te zetten in waterstof. Het project is onder andere geïnitieerd door TNO en de Gasunie. Zie de onderstaande video. Nog verder gaan initiatieven om waterstof aan de bron, dus [in de windturbine te produceren](#). Zie hiervoor dit [filmpje](#)

De import van waterstof

In de toekomst is waterstof importeren uit warme landen waarschijnlijk de verstandigste optie. 10% van de Sahara bedekken met zonnepanelen of gebruik maken van *concentrated sun power* (afbeelding beneden) volstaat om de hele wereld te voorzien van energie (560.000 petajoule). In principe kan in de Sahara, het Midden-Oosten en Australië ook 's-nachts waterstof worden geproduceerd met behulp van batterij-opvang, waardoor minder elektrolyseapparatuur nodig is. Dichter bij huis, gaat Mallorca ook waterstof produceren, met stroom uit twee zonneparken, waar boeren

ook hun schapen kunnen laten grazen. Voor zeer grootschalige productie moeten we in de toekomst in Australië zijn of in de huidige oliestaten zijn, die van plan zijn om vanaf 2030 op zeer grote schaal waterstof te exporteren.



De productiekosten van zonne-energie in woestijngebieden, in het bijzonder in gebieden waaruit we nu onze olie betrekken, zijn aanzienlijk lager dan die bij ons. Dit komt vooral door de aanzienlijk grotere lichtintensiteit, waardoor de opbrengst van zonnepanelen en -collectoren tweemaal zo groot is. Dubai bouwt aan een zonnepark van 200 km² met behulp van *concentrated solar power* (CSP)-techniek. De opgewekte energie is grotendeels bedoeld voor de export na omzetting van zonne-energie in waterstof en met name ammoniak.

Dit [filmpje](#) geeft een goed beeld van de beoogde omvang van deze centrale en ook van de wijze waarop het land dit soort projecten presenteert.

3. Opslag en transport

In principe kan waterstof over grote afstanden in tankschepen (in vloeibare vorm) of door pijpleidingen (in gasvorm) worden vervoerd. Het is makkelijker om waterstof te vervoeren na er eerst ammoniak van te hebben gemaakt, al leidt dit tot energieverlies. Nederland heeft uitermate goede mogelijkheden om waterstof(gas) te transporteren via het aardgasnet dat zonder veel aanpassingen ook voor waterstofgas kan worden gebruikt.

De haven van Rotterdam wil zich ontwikkelen tot Europese overslaghaven voor waterstof en is samen met de Gasunie een van de stuwende krachten zijn achter de uitbouw van een Europees ondergronds netwerk voor waterstofgas. Verder legt het havenbedrijf talloze contacten met landen die in de toekomst leverancier van waterstof kunnen worden, zoals Australië en landen in het Midden-Oosten, maar ook Namibië, Marokko en Uruguay.

Intern transport

Nederland heeft uitermate goede mogelijkheden voor opschaling van de productie en distributie van groene waterstof. Onder de grond ligt een perfect onderhouden en inmiddels uit zijn jasje gegroeid aardgasnetwerk en de Noordzee biedt volop gelegenheid tot de winning van elektriciteit. Een eerste stap is ombouwen van een deel van het aardgasnet tot een landelijk waterstofnet, dat ook voor im- en export kan worden gebruikt. Het Ministerie van Economische zaken en Klimaat, TenneT en de Gasunie voeren samen het project [HyWay27](#) uit te onderzoeken wat daarbij komt kijken.



Hoe de vraag zich ook ontwikkelt, Nederland beschikt over de mogelijkheden om in een aanzienlijk deel ervan te voorzien. Maar ook import kan een optie blijken. Noord-Afrika heeft dus een enorm potentieel voor de opwekking van elektriciteit, maar mist vooralsnog kennis en infrastructuur. 10% van de Sahara bedekken met zonnepanelen volstaat om de hele wereld te voorzien van energie (560.000 PJ). In principe kan in de Sahara, het Midden-Oosten en Australië ook 's-nachts water-

stof worden geproduceerd met behulp van batterij-opvang, waardoor minder elektrolyseapparatuur nodig is. Tot 1500 kilometer is transport per pijpleiding de goedkoopste optie; daarboven is het vervoer van waterstof met schepen efficiënter, bij voorkeur in de vorm van vloeibare opslagmedia, ondanks extra conversiekosten.

4. Opslag van elektriciteit

Waterstof is een optie om elektriciteit op te slaan als het aanbod van wind- en zonne-energie groter is dan de vraag. Voor deze kort-cyclische opslag zijn batterijen en boilers geschikter. Toch gaat netbeheerder Liander experimenteren met omzetten van elektriciteit in waterstof. Dit gebeurt bij verdeelstation in het Noord-Hollandse [Oterleek](#) en bij een zonnepark in het Friese [Oosterwolde](#). GroenLeven bouwt hier het grootste zonnepark van Friesland, terwijl het lokale elektriciteitsnet eigenlijk te weinig capaciteit heeft. Door op piekmomenten de stroom om te zetten in groene waterstof, kan het park er toch komen. Hiervoor wordt een elektrolyser van 1,5 megawatt gebruikt. Vergelijkbaar hiermee is [HyStock](#), de groene waterstofinstallatie van de Gasunie in Veendam. Deze zet 1 megawatt groene stroom om in waterstof. Dat levert 400 kilogram waterstof per dag op, afkomstig van 5.000 zonnepanelen.

Voor seizoensopslag van elektriciteit gooit waterstof hoge ogen. Waterstof kan worden opgeslagen in zoutcavernes, waarvan er in Nederland zo'n 100 tot 120 zijn. Als waterstofgas wordt omgezet naar vloeibare waterstof, ammoniak of *liquid organic hydrogen carriers* (in ontwikkeling) wordt het mogelijk om met enkele tientallen tanks het equivalent van de hoeveelheid waterstofgas in een forse zoutcaverne te bewaren. Ook wordt geëxperimenteerd met de opslag in [olie](#).

Hergebruik oude gascentrales

Een experiment van Nuon met de Magnumcentrale aan de Eemshaven van grote betekenis. Deze centrale produceert nu elektriciteit op basis van aardgas. Onderzocht gaat worden of deze centrale op flexibele wijze ingezet kan worden voor de productie van elektriciteit met behulp van diverse emissiearme en -vrij brandstoffen zoals waterstof. In tijden dat er voldoende groene elektriciteit is kan deze worden gebruikt om waterstof te maken. Als er een tekort is aan elektriciteit kan de centrale deze gebruiken als brandstof om er weer elektriciteit van te maken. Overigens is het energetisch rendement van dit proces laag. Echter, een tank met 60.000 m³ ammoniak komt overeen met ruim 200 miljoen kilowattuur. Dat is de jaarproductie van een 30 moderne windturbines op land.

Een forse ammoniakvoorraad is dus een belangrijke investering in de continuïteit van onze elektriciteitsvoorziening. Uiteraard kan bij voor de productie van ammoniak gebruik gemaakt van eventuele overschotten van zonne- en windenergie

5. Overige toepassingen van waterstof

Zodra groene waterstof een concurrerende prijs heeft, zijn er diverse andere zeer welkome toepassingen aan de orde, waarvoor elektriciteit een minder geschikt alternatief is.

- Industriële processen, waarbij een zeer hoge temperatuur is vereist, bijvoorbeeld de ijzer- en staalproductie, waarbij nu grijze waterstof wordt gebruikt.
- Zwaar transport. Te denken valt aan lange-afstandstrucks, de [binnenscheepvaart](#) en treinen op niet-geëlektrificeerde trajecten.
- Verwarming: Op een aantal plaatsen (variërend van oude stadscentra tot oudere huizen in de landelijke omgeving) zijn waar warmtenetten en warmtepompen geen geschikt alternatief zijn voor aardgas. Biogas of waterstofgas is hier een uitstekend alternatief, te meer daar overal gasaansluitingen zijn.

Grondstof voor de industrie

'Grijze' waterstof wordt op grote schaal gebruikt, vooral als grondstof voor onder andere de productie van kunstmest en als hoge-temperatuur brandstof in de industrie (ongeveer 175 PJ). De vraag vanuit de industrie in 2050 zal variëren tussen 100 - 400 PJ. Deze variatie komt door onzekerheid over de groei van de zware industrie gegeven de ontwikkeling naar een kringlooeconomie. Bijvoorbeeld: naarmate de landbouw meer regeneratief wordt, neemt de vraag naar kunstmest af en daalt overigens ook de hoeveelheid beschikbare biomassa. Als plastic meer wordt gerecycled, zijn er minder kunststoffen nodig. Ook staal zal veel meer worden hergebruikt. Waterstof kan ook worden ingezet voor de productie van elektriciteit als zon en wind het laten afweten en ter ondersteuning van de warmteproductie in warmtenetten. Maar om meer dan 100 PJ zal het niet gaan. Daarnaast kan waterstof worden gebruikt als brandstof in de transportsector, voor de

verwarming van huizen en als opslagmedium. Ik sta bij deze drie toepassingen stil omdat hierover de meeste onzekerheid bestaat.

Transport

Naar verwachting gaat waterstof een belangrijke rol spelen in het zware transport. Te denken valt aan lange-afstandstrucks, de [binnenscheepvaart](#) en treinen op niet-geëlektrificeerde trajecten.

Wie het over de het brandstofgebruik in de transportsector heeft, moet in de eerste plaats denken aan het vliegverkeer en aan de zeevaart denken. In Nederland alleen al is voor deze doelen op het moment ruim 600 PJ vereist, geheel bestaande uit fossiele grondstoffen. Voor de luchtvaart is synthetische kerosine op basis van waterstof voorlopig het enige alternatief. Voor de scheepvaart zijn er meer alternatieven, maar ook daarbij speelt waterstof een belangrijke rol. De ramingen voor 2050 gaan uit van minimaal 500 PJ aan benodigde waterstof, meer dan alle andere toepassingen samen!

Gebouwde omgeving

Als alle huidige gebouwen (woningen en bedrijfsgebouwen) voorzien zouden zijn van energielabel B en een cv-ketel op waterstof zouden hebben, dan was er [292 PJ aan waterstof](#) nodig per jaar. In combinatie met een hybride warmtepomp gaat het dan nog 'slechts' om 141 PJ per jaar. In de praktijk zal het om een veel lagere vraag gaan. Dankzij de Startanalyse aardgasvrije buurten van het Planbureau voor de leefomgeving (PBL) weten we [tot op buurtniveau](#) welk verwarmingsalternatief de minste maatschappelijke kosten met zich meebrengt. Voor minder dicht bevolkte gebieden en voor historische binnensteden is dat groen gas of waterstof, ook omdat het aardgasnet hiervoor geschikt kan worden gemaakt zonder exorbitante kosten ('maar' € 700 miljoen). Groen gas komt daarbij nog als beste uit de bus, maar dit is vrijwel zeker onvoldoende beschikbaar. De verwarming van de gebouwde omgeving zal gaan bestaan uit een combinatie van elektrische warmtepompen (S1) warmtenetten (S2, S3), en gas (S4, S5). Een grote onbekende is de hoeveelheid warmte die met geothermie zal worden gewonnen. De rol van groen gas of waterstofgas als verwarmingsbron in de gebouwde omgeving zal pas [na 2030](#) uitkristalliseren.

Weergave op buurtniveau van de wijze van verwarming met de laagste maatschappelijke kosten. Lezers kunnen dit voor hun eigen gemeente nagaan [Bron](#)

6. Naar een waterstofbeleid

Voor 2050 zijn scenario's ontwikkeld van het potentiële waterstofverbruik die oplopen tot 1200 PJ per jaar (energetisch plus non-energetisch), waarboven nog de vraag vanuit de lucht- en zeevaart komt. Mondiaal gezien kan aan deze vraag worden voldaan. Maar of zij er daadwerkelijk komt is niet te voorspellen en de ontwikkeling van het aanbod evenmin.

Vrijwel [alle bronnen](#) vermelden dat het toekomstige gebruik van groene waterstof afhangt van de prijsontwikkeling en dat de prijsontwikkeling afhangt van de vraagontwikkeling. Een kip of ei probleem dus. Economen spreken van marktfalen.

De oplossing ligt hier in een [gecoördineerde aanpak](#) door alle betrokken partijen met de overheid in een stimulerende en coördinerende rol. Zeker is dat er zowel door overheid als bedrijfsleven

hoge risicodragende investeringen zijn vereist. Volgens de [Hydrogen Council](#) bedragen deze wereldwijd \$ 70 miljard. Het gaat om elektrolyzers, netwerken voor transport en distributie, opslag (in zoutcavernes), tankstations en installaties voor afvang en opslag van CO₂. Daarnaast zijn substantiële investeringen nodig in snelle uitbreiding van de productiecapaciteit van wind- en zonne-energie. Als alle partijen samen optrekken zal de prijs van waterstof de komende jaren met 50 – 60% dalen en kan deze concurrerend worden met andere energiebronnen. Hiervoor is tevens noodzakelijk dat er op Europees niveau CO₂-beprijzing komt, die een einde maakt aan de jarenlange subsidie van fossiele brand- en grondstoffen.

Veel landen hebben al een visie, strategie of plan op het gebied van waterstof gepresenteerd. In sommige landen zijn al besluiten genomen ter concretisering daarvan. Koplopers zijn Australië, China, Californië, Japan, Zuid- Korea en Duitsland.

Japan lijkt de meest vergaande ambities te hebben. Het land wil de eerste ‘waterstof samenleving’ ter wereld worden en streeft naar een economie die geheel op waterstof draait. Het is onduidelijk in hoeverre Toyota, dat de eerste op waterstof aangedreven personenauto op de markt bracht, hierbij een rol speelt.

Nederland

In de vorig jaar gepubliceerde [kabinetsvisie](#) stelt de Nederlandse regering dat waterstof (en groen gas) onlosmakelijke onderdelen zijn van een CO₂-vrij energiesysteem. Dit omdat anders sommige vormen van eindverbruik technisch niet of niet kosteneffectief te verduurzamen zijn, maar ook omdat de overstap naar een CO₂-vrij gas daar de meest kostenefficiënte manier van verduurzamen is. Verder benadrukt de regering het belang waterstof voor seizoensopslag en relatief goedkoop transport van elektriciteit.

Om kennis op te bouwen over de inzet van waterstof als warmtealternatief, zal het nationale waterstofprogramma ook een programmalijs “gebouwde omgeving” omvatten. Opties zoals het gebruik van ketels met pure of bijgemengde waterstof, brandstofcellen, de combinatie met een hybride warmtepomp en de koppeling met warmtenetten als aanvulling voor de piekvraag, zullen worden onderzocht.

Met het benadrukken van de bebouwde omgeving als toepassingsmogelijkheid van groene waterstof legt de overheid een iets ander accent dan sommige recente adviezen die de nadruk vooral leggen op de vraag vanuit de industrie, het transport en de opslag van elektriciteit.

Illustratief voor de gezamenlijke aanpak die de overheid voorstaat is de [Waterstofcoalitie](#), waarin de overheid participeert met partners uit de industrie, kennisinstellingen en milieuorganisaties. Als onderdeel hiervan willen de Groninger Seaports, Shell en de Gasunie [NorthH2](#) tot ontwikkeling brengen, het grootste groene waterstofproject ter wereld. Doel is een jaarproductie van 800.000 ton groene waterstof (de huidige industriële vraag in Nederland) en tevens het opzetten van de hele keten vanaf de productie van duurzame stroom, via opslag in lege zoutcavernes, tot aan de industriële eindgebruiker. De duurzame stroom moet worden geleverd door een mega-windpark, waarvan de capaciteit in 2030 op 3 tot 4 gigawatt moet liggen en in 2040 op 10 gigawatt.



De deelnemers aan de waterstofcoalitie

In uitvoering zijn overwegend kleinschalige projecten. In Rosenberg wordt een appartementencomplex met waterstof verwarmd. De benodigde groene waterstof wordt met een elektrolyser in de nabijheid van het gebouw geproduceerd.

Twee Nederlandse gemeenten - [Hoogeveen](#) en Stad aan 't Haringvliet – ontwikkelen elk een wijk waar waterstof aardgas volledig vervangt. Zij hebben met de overheid een [Green Deal](#) gesloten met als doel alles in kaart te brengen dat komt kijken bij de verwarming van huizen met waterstof op grotere schaal. Op termijn zullen beide wijken zelf de benodigde elektriciteit opwekken.



Onze toekomstige energievoorziening

Mensen vragen mij naar aanleiding van mijn blogposts over (zonne)energie wat ik denk over het hele energieplaatje van de toekomst. Immers met zon en wind komen ver, maar niet ver genoeg. Hier een aantal opmerkingen, waarbij ik ook de snelle prijsstijging van aardgas en wellicht de daling van het aanbod van aardgas als gevolg van de oorlog in Oekraïne meeneem.

1. Ik voel me het prettigst bij een wereld zonder angst die het gevolg zou kunnen zijn van het gebruik van kernsplitsing. Misbruik door terroristische aanslagen en als onderdeel van oorlogsgeweld inbegrepen. Voor mij zijn daarom zon en wind de voornaamste energiebronnen. Dat vereist een enorme transitie, die overigens ook aanzienlijke voordelen voor de ontwikkeling van een duurzame economie in Nederland meebrengt.
2. We bouwen expertise op en investeren in de ontwikkeling van vierde generatie kernreactoren, zoals [Thorium, of gesmolten zoutreactoren](#). Deze hebben nauwelijks afval en zijn inherent veilig. Of misschien is er over enige jaren uitzicht op de doorbraak van kernfusie reactoren. Met dit soort veilige kernreactoren kunnen over enkele decennia windmolens en zonnepanelen vervangen nadat ze zijn afgeschreven.
3. We moeten ook minder energie gaan gebruiken. Ik ben ervoor om de maximumsnelheid verder te verlagen, maar dan moet eerst blijken dat de huidige snelheidsbeperkingen gehandhaafd kunnen worden, wat bij lange na niet het geval is.
De groei van datacentra moet worden beperkt en altijd worden gecombineerd met het gebruik van restwarmte. 'Mining' van cryptovaluta door inzet van massale computercapaciteit moet worden verboden. Alternatieven daarvoor zijn inmiddels voorhanden.
4. Als aanvulling op het gebruik van zonne- en windenergie kies ik in de eerste plaats voor waterstof(gas). Dat gas wordt gebruikt voor de zware industrie, voor het transport en om discrepanties in vraag en aanbod van energie op te vangen en als aanvullende voorziening voor de verwarming

van huizen. De aanwezigheid in Nederland van een kwalitatief hoogwaardig gasnet speelt hierbij een belangrijke rol.

5. Het benodigde waterstofgas gaan we bij lange na niet zelf maken. De redelijke verwachting is dat dit na 2030 in woestijnen kan worden geproduceerd en van daaruit getransporteerd kan worden tegen een concurrerende prijs. We gaan daarom voorop om landen in de Sahara te helpen bij de ontwikkeling van de productie daarvan. Verder importeren we waterstofgas of ammoniak uit de huidige olieproducerende landen. Het spreiden van risico's over een aantal gebieden lijkt een wijze les.

6. Daarnaast gebruiken we restwarmte, zo lang die voorradig is. Immers de industrie waarvan deze afkomstig is denkt ook na over een zuiniger gebruik van energie. Het onderzoek naar het gebruik van aardwarmte gaat met prioriteit door en aardwarmte wordt gebruikt- vooral in warmtenetten waar dat veilig kan⁵.

7. De Noordzee, het IJsselmeer (inclusief de polders) worden de belangrijkste plekken voor de winning van windenergie. Op daken worden - waar dat mogelijk en (esthetisch) verantwoord is - zonnepanelen gelegd. We zijn zuinig met ons landschap en kijken daarom kritisch naar plekken waar grondgebonden zonnepanelen gelegd kunnen worden en waar windmolens niet misstaan. Een deel van de windenergie wordt ter per plaatse omgezet in waterstof.

8. Het duurt zeker tot 2040 duren voordat we voldoende groene waterstof hebben uit import dan wel uit eigen productie. De komende jaren moet duidelijk worden hoeveel groene of (tijdelijk) blauwe waterstof kan worden geïmporteerd en ook of de uitbreiding van het aantal zonnepanelen en windmolens gestaag doorgaat.

9. Het gebruik van (geïmporteerd) gas voor de zware industrie, voor piekcapaciteit en voor verwarming lag daarom tot voor kort voor de hand. Die mogelijkheden lijken aanzienlijk beperkter, gegeven de voorgenomen stopzetting van gasimport uit Rusland. Versnelde productie en import van blauwe waterstof is in elk geval voor de industrie en de luchtvaart nodig, ook als het aantal vliegbewegingen wordt beperkt.

10. Als er tijdelijk ondergrondse opvang komt voor CO₂, houden we onze superzuinige steenkool gestookte centrales nog even open. Zij kunnen blijven draaien (met CO₂-afvang) totdat de voorzieningen voor opwekking van zon- en windenergie op het gewenste niveau zijn en er voldoende (geïmporteerd) waterstofgas beschikbaar is.

11. Lokaal opgewekte elektriciteit wordt mede door toedoen van slimme netten en energie coöperaties zo veel mogelijk lokaal gebruikt om uitbreiding van het elektriciteitsnet te beperken. Hiertoe wordt op grote schaal voorzien in particuliere of beter buurtopslag van elektriciteit.

12. Verantwoord verkregen biomassa is in de eerste plaats grondstof voor de biochemische industrie en kan verder worden gebruikt voor lokale (bij)stook van kolen- en gascentrales (met CO₂-

⁵ Zie hiervoor mijn artikel: De stiefdochter van de milieuwetenschap (3): [Aardwarmte](#)

afvang) en als lokale energiebron voor hulpketels bij warmtenetten. Als er dan nog voldoende over is kan er waterstofgas van worden gemaakt en worden toegevoegd aan het gasnet.

13. We nemen voldoende tijd om op wijkniveau te kiezen voor de beste vorm van gebouwverwarming en warmwatervoorziening. Op zich kan te snel 'van het gas af gaan' mogelijk leiden tot verkeerde keuzen op langere termijn. Maar na de versnelde afbouw van import van aardgas uit Rusland zal dit wel moeten. Voor een deel van de bebouwde omgeving blijft gas hoe dan ook noodzakelijk, zij het altijd in combinatie met (hybride) warmtepompen. Namelijk daar waar isolatie van gebouwen tot op niveau B niet kan en op grote delen van het platteland, tenzij daar mogelijkheden zijn om (collectief) aardwarmte in te zetten. Daarop het komende decennium nog geen uitzicht.

14. Disclaimer: Uiteindelijk is het doel dat het licht aan en de kachel warm blijft op een duurzame manier. Daarom wordt in de periode tot 2030 maximaal ingezet op de aanleg van zonnepanelen en windmolens. Maar alleen daarmee reden we het niet. Er is in elk geval waterstof en geothermische energie nodig. Ook kunnen we niet zonder aardgas of biogas tot we over de maximaal nodige hoeveelheid waterstof beschikken. Er is een reële kans dat dit allemaal niet gaat lukken, vooral door stagnatie van de bouw van windmolens en in de beschikbaarheid van restwarmte, aardgas en waterstof. Voor dat geval moeten we plannen klaar hebben liggen voor de bouw van een kernenergiecentrale. Een eventuele beslissing over de bouw daarvan is nu niet aan de orde.

