

SOLAR MOBILITY

DE KANSEN VAN EEN INNOVATIEVE SECTOR

RAPPORT

seo • economisch onderzoek

AUTEURS

WOUTER ELSENBURG, JOOST WITTEMAN, DEMI BEERNINK, ELENE LENDERS, ADAM KUCZYNSKI

IN OPDRACHT VAN

MINISTERIE VAN ECONOMISCHE ZAKEN EN KLIMAAT

AMSTERDAM, MEI 2023

Samenvatting

De *solar mobility* sector is in Nederland momenteel vooral bekend vanwege de spectaculaire auto op zonne-energie die door een Nederlandse startup is ontwikkeld. Bij *solar mobility* gaat het om voertuigen die een (gedeelte) van hun energiebehoefte opwekken door zonnepanelen. Naast auto's omvat de sector ook vrachtauto's en schepen.

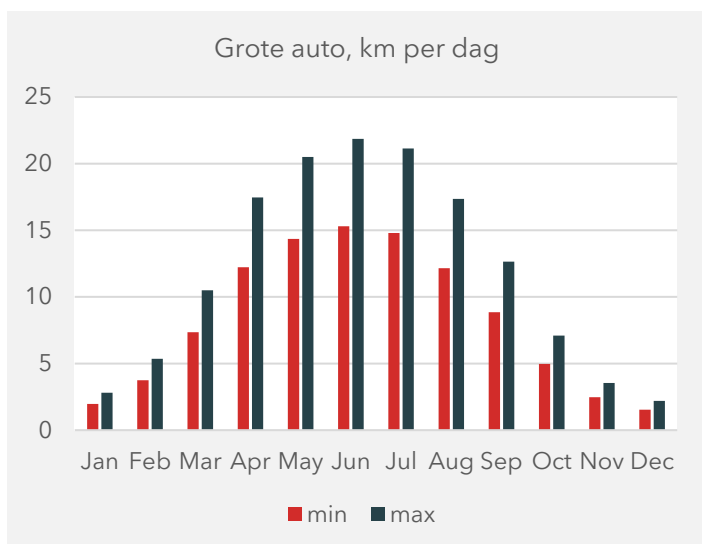
Deze studie gaat in op vier vragen, namelijk:

1. Wat is het perspectief van de *solar mobility* sector voor de Nederlandse economie?
2. Welke bijdrage kan de sector leveren aan het realiseren van de energietransitie en de ontwikkeling van het energiesysteem?
3. Hoe ziet de Nederlandse *solar mobility* sector eruit en wat is de internationale concurrentiepositie?
4. Welke knelpunten ervaren bedrijven in de *solar mobility* sector en welk beleid is mogelijk en/of nodig om deze knelpunten op te lossen?

Kansen van solar mobility

Solar mobility is een sector in opkomst. Wereldwijd werken bedrijven aan toepassingen voor zonnepanelen op auto's, vrachtauto's en schepen. Belangrijke delen van de sector verkeren echter nog in een experimentele fase. Zo zijn er al wel auto's met een zonnedak te koop, maar wordt de opgewekte energie momenteel nog enkel gebruikt voor secundaire systemen, zoals de verlichting en airconditioning. Auto's waarbij de opgewekte energie de elektromotor aandrijft bestaan al wel als prototype, maar zijn nog niet te koop. Voor vrachtwagens zijn zonnepanelen sinds kort commercieel beschikbaar. Maar ook daar geldt dat de opgewekte energie vooralsnog alleen ten goede komt aan secundaire systemen, zoals de koeling of verlichting. Zonnepanelen op schepen bestaan al langer en zijn bijvoorbeeld reeds in gebruik als energiebron voor de aandrijving bij bepaalde ferry's of jachten. Dit neemt niet weg dat ook bij schepen nog grote stappen te zetten zijn.

Figuur S.1 Figuur S1, geschatte dagelijkse kilometers voor een auto met 5m² aan zonnepanelen in Nederland



Bron: Berekeningen SEO en EU Photovoltaic Geographical Information System

Hoewel de sector nog in de kinderschoenen staat is *solar mobility* een kansrijke sector. Het loont om zonnepanelen te ontwikkelen voor auto's, vrachtauto's en schepen. Tot die conclusie komt deze studie op basis van een analyse van terugverdientijden, waarbij gebruikgemaakt is van bestaande literatuur en gesprekken met experts. Hierbij is

met twee scenario's gewerkt, aangezien de opbrengst van panelen zeer gevoelig is voor aannames over onder meer schaduw effecten. Figuur S.1 hierboven laat zien dat een grote auto met 5 m² zonnepaneel in de zomer tussen de 20 en 15 km per dag kan rijden op basis van de opbrengst van de panelen, maar dat dit in de winter slechts om enkele kilometers gaat. Ondanks de fluctuatie in opbrengst is de terugverdientijd van de panelen momenteel al heel redelijk. Deze zal naar verwachting verder afnemen gezien de ontwikkeling van steeds efficiëntere cellen en de trendmatige daling van de kosten. Dit geldt zowel voor panelen op auto's en vrachtauto's als voor panelen op schepen, zie ook Tabel S.2 hieronder. Wel is de terugverdientijd logischerwijs sterk afhankelijk van de energieprijzen. Die zijn momenteel relatief hoog vergelijken met afgelopen jaren, daarom is ook aangegeven wat terugverdientijden zijn als energieprijzen dalen met tien procent.

Bij vrachtauto's is onderscheid gemaakt tussen enerzijds diesel-aangedreven trucks, die zonnepanelen gebruiken als elektriciteitsbron voor de koeling van de lading en andere secundaire systemen, en anderzijds elektrische trucks die de panelen gebruiken voor aandrijving. Omdat elektriciteit uit een laadpaal goedkoper is dan de met een dieselgenerator opgewekte elektriciteit, is de terugverdientijd langer bij een elektrische vrachtauto. Deze zal de elektriciteit immers uit een laadpaal halen, terwijl een dieseltruck de elektriciteit met een generator opwekt.

Voor schepen geldt eenzelfde tweedeling, waarbij is uitgegaan van binnenvaartschepen met luiken voorzien van zonnepanelen. Momenteel wordt de op deze wijze opgewekte energie al gebruikt voor de huishoudstroom van de schipper en de aanvullende systemen van een schip. Als in de toekomst schepen overstappen op elektrische voortstuwing dan kunnen zonnepanelen ook daarvoor worden ingezet.

Tabel S.2 terugverdientijden en CO₂-reductie door solar mobility in Nederland

		Terugverdientijd	Terugverdientijd bij 10% daling brandstofprijzen	Terugverdientijd	CO ₂ -reductie	CO ₂ -reductie
		2023	2023	2030	2030	2030
		In jaren	In jaren	In jaren	In mln. kg	% emissie 2021
Auto	Elektrisch	7,2	7,8	2,8	34,6	0,23
Vrachtauto	Diesel	3,0 - 3,8	3,3 - 4,2	1,4 - 1,8	-	-
	Elektrisch	6,2 - 8,2	6,8 - 9,1	2,9 - 3,8	2,3	0,034
Scheepvaart	Gasolie	5,7	7,0	2,6	7,8	0,1
	Elektrisch	13,3	14,8	6,1	1,3	0,016

Bron: Berekeningen SEO

Toelichting tabel

De tabel geeft een schatting van de terugverdientijd van zonnepanelen op auto's, vrachtauto's en schepen, waarbij is uitgegaan van een scenario met opbrengstderiving door schaduw effecten (het minimale scenario). Daarbij is de huidige situatie het uitgangspunt, maar wordt ook gekeken naar het effect van 10% lagere brandstofprijzen. Voor 2030 is een prognose gemaakt waarbij de efficiency van de panelen toeneemt en de prijsdaling van de afgelopen jaren zich voortzet. Voor auto's is alleen gekeken naar zonedaken op elektrische auto's. Bij vrachtauto's en schepen is zowel gekeken naar de terugverdientijd wanneer de elektriciteit met een brandstofgenerator wordt opgewekt als wanneer deze afkomstig is van een laadpaal. Voor 2030 is een schatting gemaakt van de CO₂-reductie door het plaatsten van zonnepanelen in miljoenen kilo's en in percentage van de

Daarnaast zorgen zonnepanelen voor een aantal additionele voordelen. Zo verlengen zonnepanelen de levensduur van de batterijen van een auto of vrachtwagen. Bij auto's is een ander voordeel dat ze in de zomer minder vaak via een laadpaal opgeladen hoeven worden, wat tijdswinst voor de gebruiker oplevert. Omdat zonneauto's in de winter weinig energie produceren zal voor een zonneauto wel dezelfde infrastructuur nodig zijn als voor een elektrische auto zonder zonnedak. De behoefte aan laadpunten neemt dus niet af, ze zullen wel minder worden gebruikt. Bij schepen met zonnedaken geldt dat ze minder afhankelijk zijn van walstroom of een vervuilende dieselgenerator. Dit laatste geldt ook voor vrachtwagens.

Tegenover deze voordelen staat als belangrijkste nadeel de hogere aanschafprijs. Dit kan vooral voor particulieren een hobbel zijn. Bedrijven die vrachtwagens of schepen exploiteren hebben sowieso te maken met financieringsvraagstukken. De additionele financiering voor zonnepanelen kan daarin meelopen en zal relatief bescheiden zijn.

CO₂-reductie door solar mobility in 2030

De CO₂-reductie door *solar mobility* is beperkt, zie Tabel S.2. Voor vrachtauto's en schepen geldt dat de bijdrage van zonnepanelen in de gevraagde energie klein is en daarmee ook de CO₂-reductie. Die komt uit op fracties van procenten in 2030, in vergelijking met de huidige uitstoot. Voor auto's is de CO-reductie groter, maar nog steeds bescheiden. Dit grotere effect weerspiegelt dat de opbrengst van zonnepanelen bij auto's een groter deel van het gebruik dekt. Ook in absolute zin is de opbrengst bij personen auto's duidelijk groter, wat samenhangt met het reeds grotere gebruik van elektrische auto's en daarmee de verwachting voor 2030.

Positie van de Nederlandse solar mobility sector

Nederland heeft een kleine, maar goed gepositioneerde *solar mobility* sector. Op het terrein van vrachtwagens en schepen zijn bedrijven actief die zowel technisch als commercieel vooroplopen. Deze bedrijven hebben op innovatieve wijze panelen geschikt gemaakt voor toepassing in de praktijk en bieden deze op commercieel rendabele wijze aan. Daarbij gaat het om zonnepanelen voor de trailers van vrachtwagens en voor de dekluiken van binnenvaartschepen. Tevens werken de bedrijven aan verdere ontwikkeling de panelen. Daarmee hebben ze een goede uitgangspositie in deze markten.

In de automarkt is vooral Lightyear een bekende Nederlandse speler. Dit bedrijf maakt een doorstart, maar zal moeten laten zien dat het in staat is om overeind te blijven in de zeer concurrerende markt voor personenauto's. Daarbij zet het bedrijf niet alleen in op het maken van een betaalbare zonneauto, maar ook op de productie van zonnedaken voor andere autoproducenten. Dit laatste lijkt operationeel eenvoudiger omdat het slechts een deel van de auto betreft en Lightyear veel kennis en octrooien heeft op het terrein van zonnedaken en beschikt over een eigen fabriek voor de productie van zonnedaken.

Knelpunten voor de Nederlandse solar mobility sector

Voor de *solar mobility* sector speelt een aantal bedrijfsmatige en beleidsmatige knelpunten. De meeste daarvan spelen ook in andere, vergelijkbare sectoren en worden waar zinvol geadresseerd door bestaand beleid. Specifiek beleid gericht op de kleine *solar mobility* sector ligt niet voor de hand, behalve mogelijk het verduidelijken van technische vereisten. Dit zou dan wel minimaal op Europees niveau dienen te gebeuren. Daarnaast is te overwegen of enkele meer generieke subsidieregelingen voldoende openstaan voor gebruik door de sector.

Inhoudsopgave

Samenvatting		i
1	Inleiding	1
2	De zonnemobiliteitssector	2
	2.1 Afbakening van de sector	2
	2.2 Overzicht van de Nederlandse sector	2
	2.3 Buitenlandse marktpartijen	5
3	Economische haalbaarheid en CO2-reductie	8
	3.1 Zonnepanelen op auto's	8
	3.2 Zonnepanelen op vrachtauto's	12
	3.3 Zonnepanelen op schepen	15
4	Perspectief solar mobility sector	17
	4.1 Personenauto's	17
	4.2 Vrachtauto's	19
	4.3 Schepen	20
5	Knelpunten en beleid	22
	5.1 Mogelijke knelpunten	22
	5.2 Een ruimere rol voor de overheid?	27
Referenties		30
Bijlage A	Geïnterviewde experts	32
Bijlage B	Kenschets Nederlandse spelers	33

1 Inleiding

In opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat brengt SEO Economisch Onderzoek de *solar mobility* sector in kaart, inclusief knelpunten, beleidsopties en het toekomstperspectief.

De Nederlandse economie staat voor de opgave om het structurele verdienvermogen te borgen met onder andere innovatieve en hoogwaardige bedrijvigheid en werkgelegenheid. Daarnaast bestaat de noodzaak tot vergroening en verduurzaming van de productie en consumptie. Een aantal bedrijfstakken kan hierin een sleutelrol spelen. Mobiliteit is verantwoordelijk voor 30 procent van de Nederlandse CO₂-uitstoot. Beleidsmatig bestaat al geruime tijd aandacht en ondersteuning voor het realiseren van nieuwe mobiliteitsvormen en het verduurzamen van het huidige mobiliteitsaanbod, bijvoorbeeld door elektrisch rijden te stimuleren (zie e.g. Klimaatakkoord 2019).

Een ontluikende bedrijfstak die zich op het snijvlak van deze twee opgaven (verdienvermogen én verduurzaming) bevindt is de *solar mobility* sector. Met gebruik van zonne-energie kan de CO₂-voetafdruk van mobiliteit afnemen (verduurzaming), maar dit vereist nog wel innovatie en ontwikkeling van de markt.

Tegen deze achtergrond heeft het ministerie van Economische Zaken aan SEO Economisch Onderzoek gevraagd om de *solar mobility* sector in kaart te brengen en daarbij in te gaan op knelpunten voor bedrijven, beleidsopties en het toekomstperspectief van de sector. Specifiek luiden de onderzoeksvragen:

1. Wat is het perspectief van de *solar mobility* sector voor de Nederlandse economie?
2. Welke bijdrage kan de sector leveren aan het realiseren van de energietransitie en de ontwikkeling van het energiesysteem?
3. Hoe ziet de Nederlandse *solar mobility* sector eruit en wat is de internationale concurrentiepositie?
4. Welke knelpunten ervaren bedrijven in de *solar mobility* sector en welk beleid is mogelijk en/of nodig om deze knelpunten op te lossen?

De analyse van deze vragen steunt op bureauonderzoek, interviews en een analyse van data. Voor een nadere onderzoeksverantwoording, zie Bijlage B.

Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de *solar mobility* sector in Nederland en internationaal. Hoofdstuk 3 gaat op basis van enkele scenario's na of zonnepanelen haalbaar zijn vanuit economisch oogpunt. Daarnaast wordt in dit hoofdstuk een raming gemaakt van de verwachte reductie in CO₂-uitstoot door *solar mobility*. Vervolgens beziet hoofdstuk 4 het perspectief van de Nederlandse sector. Tot slot gaat hoofdstuk 5 in op de knelpunten waar de sector tegenaan loopt en of dit vraagt om additioneel overheidsbeleid.

2 De zonnemobiliteitssector

Wereldwijd experimenteren bedrijven met het plaatsen van zonnepanelen op auto's, vrachtauto's en schepen, zodat deze (gedeeltelijk) in hun eigen energiebehoefte kunnen voorzien. Veelal bevinden deze concepten zich nog in een ontwikkelingsfase al zijn verschillende producten al op de markt beschikbaar. Ook Nederland kent een *solar mobility* sector. Deze is bescheiden in omvang, maar loopt in verschillende markten voorop.

2.1 Afbakening van de sector

Het in kaart brengen van de *solar mobility* sector vereist een afbakening: welke bedrijven rekenen we tot deze sector en welke niet? We hanteren hiervoor de uitgangspunten dat een bedrijf onderdeel is van de *solar mobility* sector, indien:

1. het mobiliteit realiseert;
2. met behulp van zonnepanelen die zorgen voor voortstuwing of brandstofbesparing.

Daarmee is duidelijk dat bedrijven behoren tot de *solar mobility* sector wanneer zij auto's, vrachtauto's of schepen bouwen, die geheel of gedeeltelijk in hun energie voorzien door middel van zonnepanelen. Deze uitgangspunten zorgen ervoor dat zonnepanelen *an sich* niet tot de *solar mobility* sector behoren. Dit is pas het geval als die panelen specifiek bedoeld zijn voor plaatsing op een vervoersmiddel.

De uitgangspunten kennen grensgevallen. Een eerste is fundamenteel of toegepast wetenschappelijk onderzoek, waar de feitelijke dienst speur- en ontwikkelwerk is, maar waar het oogmerk van dit S&O-werk duidelijk is in het realiseren van mobiliteit. Een tweede is de productie van zonnecellen die vooral voor het realiseren van mobiliteit geschikt zijn, maar niet uitsluitend. Een derde bestaat uit het feit dat bedrijven soms verschillende goederen en diensten leveren, die niet allemaal als zonnemobiliteit zouden classificeren.

Vanwege deze grensgevallen hanteren we twee afbakeningen van de sector, de smalle en de brede. In de smalle afbakening vallen enkel bedrijven die strikt aan de uitgangspunten voldoen. In de brede nemen we ook de grensgevallen mee.

2.2 Overzicht van de Nederlandse sector

Tabel 2.1 hieronder bevat een overzicht van bedrijven en organisaties die vallen binnen de smalle en brede definitie van de *solar mobility*, ook wel Vehicle-Integrated Photovoltaics (VIPV) genoemd. Dit overzicht is gebaseerd op *deskresearch* en interviews met experts, beleidsmakers en marktpartijen. Veel van de bedrijven houden zich nog bezig met de ontwikkeling van voertuigen gedreven door zonne-energie, waardoor deze niet commercieel beschikbaar zijn.

Tabel 2.1 Overzicht van de solar mobility sector uitgesplitst naar smalle en brede definitie (april 2023)

Afbakening	Naam	Modus	Product / dienst
Smalle definitie	Lightyear	Weg	Auto's op zonne-energie
	IM Efficiency	Weg	Trucks op zonne-energie
	Mito Solar	Mix	Mobiele zonnepanelen
	Squad Mobility	Weg	Auto's op zonne-energie
	Solar Team Eindhoven	Weg	Prototypen auto's op zonne-energie
	TRENS Solar Trains	Weg	Stadstreinen op zonne-energie
	Brainport Development	Weg	Openbaar vervoer op zonne-energie
	Wattlab	Scheepvaart	Zonnepanelen voor binnenvaartschepen
	Blommaert Alu	Scheepvaart	Zonnepanelen voor binnenvaartschepen
	Sunrider	Weg	Cargo-fietsen op zonne-energie
	Solfie	Weg	Bakfietsen op zonne-energie
Brede definitie	Solarge	Mix	Productie lichtgewicht zonnepanelen
	Compoform	Mix.	Productie en ontwikkeling van <i>thermoplastics</i>
	Endurance Solar	Mix.	Productie lichtgewicht zonnepanelen
	HyET Solar	Mix	Flexibele PV-modules
	FlexSol Solutions	Weg	Verlichting van straten en bewegwijzering
	LITTA	Weg	Fietsverlichting op zonne-energie
	Fly With Lucy	Luchtvaart	Elektrische vliegtuigen
	Solmates PLD	Mix	Zonnepanelen en batterijen
	We Drive Solar	Weg	Leasing elektrische auto's
	Zonnetap	Weg	Laadpalen op zonne-energie
	Exasun	Weg	Productie zonnepanelen
	Energyra	Weg	Productie zonnepanelen

Bron: SEO Economisch Onderzoek 2023, op basis van bureauonderzoek en interviews met experts en marktpartijen

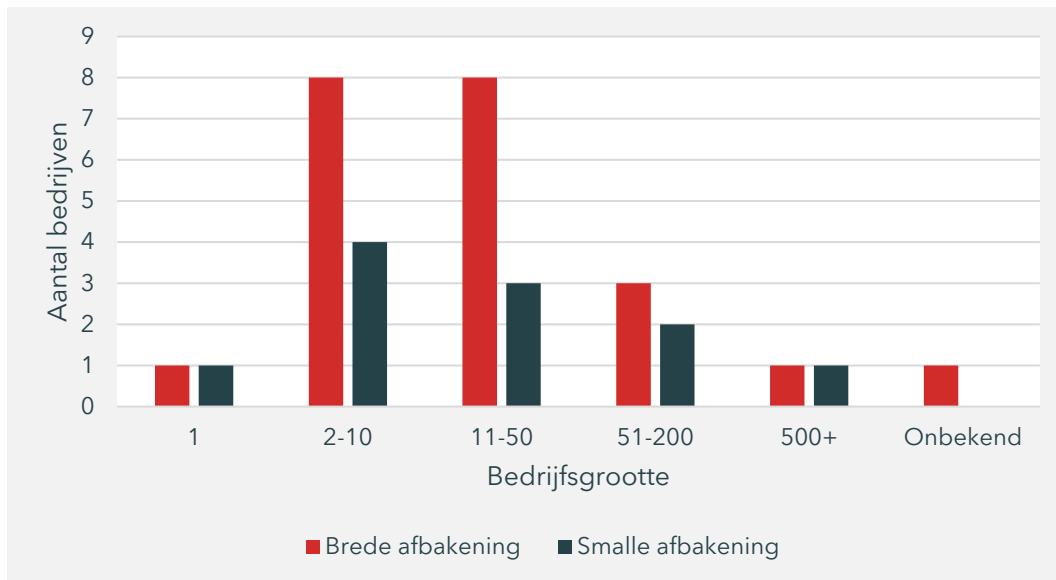
De sector is dusdanig klein dat er nog geen analyse mogelijk is op basis van CBS Microdata.¹ Daarmee is het niet mogelijk om een meerjarig en integraal dekkend beeld van de sector te schetsen in termen van bijvoorbeeld omzet en groei. De onderstaande kerncijfers zijn baseren we op (handmatige verzameling van) openbare data.

De sector bestaat voornamelijk uit kleinschalige bedrijven, die nog niet veel personeel in dienst hebben. Figuur 2.1 laat zien wat de bedrijfsgroottes zijn qua personeel voor bedrijven die onder de smalle dan wel brede afbakening vallen. Onder de grotere bedrijven (51+ medewerkers) is veelal slechts een deel betrokken bij activiteiten die met

¹ Om onthullingsrisico's van gevoelige informatie te vermijden stelt het CBS als regel dat de resultaten van een analyse gebaseerd zijn op minstens 10 bedrijven en dat daar geen 'dominant' bedrijf tussen zit. Gedurende de uitvoering van de analyse met CBS Microdata bleek dat het niet mogelijk was om aan deze voorwaarden te voldoen.

solar mobility te maken hebben en is het grootste deel van het bedrijf gericht op bijvoorbeeld de productie van lichtgewicht zonnepanelen die voor meerdere toepassingen geschikt zijn.

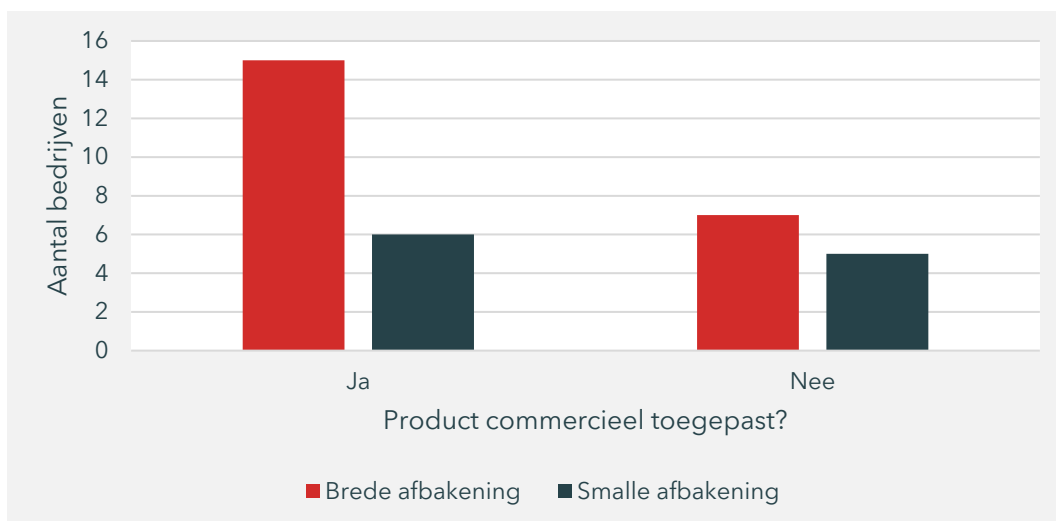
Figuur 2.1 Bedrijfsgroottes van onderzochte bedrijven binnen de smalle en brede afbakening



Bron: Inventarisatie door SEO Economisch Onderzoek 2023

De bedrijven zijn in het algemeen jong en zitten in een verkennende fase. Hierdoor zijn de productieprocessen vaak nog niet of slechts deels op gang gebracht en is de levensvatbaarheid van het product nog niet bekend. De bedrijven hebben vaak wel werkende prototypes ontwikkeld, maar zijn nog bezig met het opschalen van de productie. Figuur 2.2 laat zien welk deel van de bedrijven een potentieel commercieel rendabele productie heeft opgericht.

Figuur 2.2 Productiestatus van onderzochte bedrijven binnen de smalle en brede afbakening



Bron: Inventarisatie door SEO Economisch Onderzoek 2023

2.3 Buitenlandse marktpartijen

Wegmobiliteit en toeleveranciers

Ook in het buitenland zijn marktpartijen actief die zonnemobiliteit (proberen te) realiseren, evenals kennisinstellingen die onderzoek doen naar het gebruik van zonne-energie voor mobiliteit. Sinds de eerste *solar challenge* in 1985 heeft *solar mobility* steeds meer aan internationale aandacht gewonnen. Landen met een grote auto-industrie spelen hier vanzelfsprekend op in.

Bestaande autoproducenten uit onder meer Japan en Duitsland experimenteren al enige tijd met het realiseren van zonnemobiliteit. In sommige gevallen gaat het dan om een relatief eenvoudige aanpassing. Denk aan het plaatsen van een zonnedak op een bestaand model, zoals bij de Audi e-tron. In andere gevallen gaat het om het experimenteren met als doel efficiëntere zonnepanelen te ontwikkelen die geschikt zijn auto's, zoals bij de Prius Prime van Toyota. Ook is er een samenwerkingsinitiatief door Nissan, Lightyear en TNO dat onderzoek doet naar zonnepanelen voor (vracht)auto's. Dit als onderdeel van het onderzoeksprogramma van het Internationaal Energieagentschap (Taak 17 inzake PV en transport). Tabel 2.2 geeft een niet-uitputtend overzicht van de meer experimentele modellen waar momenteel aan wordt gewerkt. Bij enkele autofabrikanten zijn momenteel al auto's met een zonnedak te koop. Hierbij geldt wel dat de energie die deze daken opwekken nog niet gebruikt wordt door de elektromotor, maar door de secundaire elektrische systemen van de auto, zoals verlichting en airconditioning.

Daarnaast is er een breder speelveld aan startups die auto's met zonnedaken ontwikkelen. Het bekendste buitenlandse voorbeeld is waarschijnlijk het inmiddels failliete Duitse Sono Motors. Dit bedrijf ontwikkelde een betaalbare gezinsauto, waarbij zonnepanelen op grote delen van de auto zijn toegepast. Een andere startup is het Amerikaanse Aptera, dat net als Lightyear een oorsprong kent in de *solar challenge* en werkt aan een futuristisch ogende auto.

Tabel 2.2 Een overzicht van zonneauto's

Model	Aptera	Power Core Sun Cruiser	Toyota Prius Prime	Nissan Van	Sono Motors Sion	Toyota BZ4X	Lightyear One
Land	VS	Duitsland	Japan	Japan	Duitsland	Japan	Nederland
Efficiency zonnepanelen		29,7%	+30%	+30%	21%		25%
Installatie	Rondom	Dak	Dak motorkap deuren	Dak motorkap deuren	Dak motorkap deuren, carrosserie	Dak	Dak motorkap, carrosserie
Batterij capaciteit		8,5 kWh	8,8 kWh	40 kWh	54 kWh	71,4 kWh	60 kWh
Dagelijks max zonne-capaciteit	64 km				34 km		70 km
Verbruik	16 km/kWh		9,35 km/kWh	6,6 km/kWh	5km/kWh		16km/kWh
Actieradius	1600 km	700 km			260 km	500 km	1000 km
Gewicht	816 kg	340 kg	1526 kg		1730 kg	2020 kg	1575 kg

Bron: SEO (2023) op basis van Aptera.us (2023), EV Database (2023), PV in Motion conference (2023), Yamaguchi et al. (2020), Sono Motors Sion (2023), Lightyear (2023).

Een derde categorie bedrijven die actief zijn in de zonnemobiliteit betreft de toeleveranciers van autoprodukten. Autobouwers worden van onderdelen voorzien door een langere toeleveringsketen. Deze keten innoveert ook, bijvoorbeeld met de verdere ontwikkeling van lichte en geïntegreerde zonnepanelen (zie Tabel 2.3 voor een aantal voorbeelden). Zo heeft het Duitse A2 Solar, zonnedaken gemaakt voor onder meer Audi en Volkswagen. Innovatie op het terrein van zonnemobiliteit vindt dus ook in de keten plaats.

Tabel 2.3 Toeleveranciers die actief zijn in de solar mobility sector

Naam	Land	Product
A2 Solar	Duitsland	VIPV producten voor Audi, Fisker, VW e.a.
Valoe	Finland	VIPV producten voor Sono Motors e.a.
AGP	verschillende	daken met zonnepanelen
AGC	verschillende	ramen met zonnepanelen
DAS Solar	Oostenrijk	verschillende VIPV oplossingen
Sol-Go	VK	flexibele lichtgewicht modules voor VIPV
Exypnos	België	bevestigingstechniek voor voertuigen

Bron: Newman et al. (2021)

Vooruitkijkend is duidelijk dat een flink aantal bedrijven zich de komende tijd zal bezighouden met het verder ontwikkelen van zonnepanelen voor auto's. Op basis van gesprekken met experts concluderen we dat momenteel weliswaar duidelijk is dat er geen fundamentele technische obstakels zijn voor het plaatsen van zonnepanelen op auto's, maar dat er nog wel een aantal verbeteringen wenselijk is. Daarbij gaat het om het verhogen van de efficiency van de zonnecellen op basis van nieuwe technologie. Veelbelovend lijken de cellen op basis van perovskite, als opvolger van de huidige op silicium-gebaseerde cellen, en de techniek om meerdere lagen cellen op elkaar te plaatsen. De meeste experts zijn het erover eens dat een cel-efficiency van 30 procent voor autopanelen een redelijke prognose is voor het jaar 2030. Op experimentele modellen wordt dit nu al bereikt op basis van zeer hoogwaardige cellen, die momenteel nog zeer kostbaar zijn, zie ook tabel 2.2. Andere technische uitdagingen zijn het goed 3D-buigen van de cellen, zodat ze op meerdere onderdelen van auto's passen, het aanpassen van de kleur van de panelen en het verder ontwikkelen van een transparant schokbestendig afdek materiaal voor de zonnepanelen. Dit laatste is onder meer van belang om ervoor te zorgen dat zonnecellen op de motorkap voldoende flexibel zijn om op veilige wijze klappen op te vangen. Tot slot is duidelijk dat de prijs van zonnepanelen sterk samenhangt met productieaantallen. Omdat gebogen panelen alleen passen op één type auto, zullen de kosten pas sterk dalen wanneer het een fabrikant lukt om een bepaald model in grote aantallen te verkopen. Experts wezen er in dit kader op dat de opschaling naar massaproductie wel iets is waar de auto-industrie toe in staat is.

Scheepvaart

Internationaal werkt een palet aan marktpartijen aan het gebruik van zonnepanelen in de scheepvaart. Belangrijk daarbij is dat de scheepvaartmarkt heterogeen is en zowel (korte) veerdiensten, binnenvaart en verschillende typen zeescheepvaart omvat, zoals cruise en handelsvaart. Volledige voortstuwing op zonenergie wordt vooral als kansrijk voor kleinere veerboten en jachten beschouwd. Voor grote schepen zijn zonnepanelen nog steeds een aanwinst, maar dan voor het voeden van de secundaire systemen, zoals elektriciteitsvoorziening op het schip of als kleine aanvulling voor de elektromotor (Karatuğ en Durmuşoğlu 2020, Arief en Fathalah 2022, Pan et al. 2021). Zo wordt het vrachtschip Auriga Leader, waarop wordt geëxperimenteerd met de toepassing van zonnepanelen, voor slechts 0,05 procent aangedreven door elektriciteit uit deze panelen.

Internationaal wordt met zonne-aandrijving van verschillende typen schepen geëxperimenteerd. Zo vaart in India een veerpont aangedreven door zonne-energie en in Duitsland een rondvaartboot.² Ook het Nederlandse Damen biedt de bouw van dergelijke schepen aan.³ Onderzoek wijst uit dat aandrijving op basis van zonne-energie rendabel kan zijn. Zo analyseren Wang et al. (2019) de commerciële haalbaarheid van zonnepanelen voor de aandrijving van een elektrische veerboot. Zij komen tot een terugverdientijd van circa drie jaar. Zonne-energie biedt ook mogelijkheden voor de aandrijving van plezierjachten, zoals het Spaanse bedrijf Silent-Yachts laat zien. Dit bedrijf produceert jachten die volledig met zonnepanelen van stroom worden voorzien.

Vooruitkijkend ligt een verdere ontwikkeling van elektrische schepen voor de hand, aangezien milieueisen strenger en batterij- en waterstoftechnologie beter worden. Dit zal tot nieuwe mogelijkheden leiden voor zonnepanelen op schepen. De vraag naar elektrische capaciteit neemt immers sterk toe bij schepen met elektrische aandrijving. Daarmee is te verwachten dat in de scheepvaart steeds meer gebruikgemaakt zal worden van zonnepanelen, al blijft dit voor grote schepen voorlopig een bescheiden aanvulling op de primaire elektrische energiebron.

² Voor een breder overzicht van elektrische schepen, waarvan sommige gebruikmaken van zonne-energie, zie [Energies | Free Full-Text | Towards Ferry Electrification in the Maritime Sector \(mdpi.com\)](#).

³ [Modular Solar Powered Ferry 2409 - Damen](#)

3 Economische haalbaarheid en CO2-reductie

De opbrengst van panelen is, zeker op termijn, voldoende om de aanschafkosten binnen een redelijke termijn terug te verdienen. *Solar mobility* levert in potentie ook een bijdrage aan de reductie van CO2-uitstoot, al zal deze bescheiden zijn.

Om na te gaan wat de *solar mobility* sector in potentie bijdraagt aan de Nederlandse economie en aan uitstootreductie, is in de eerste plaats relevant of de sector een rendabel product kan leveren. Als dit zo is, dan levert de sector een bijdrage aan de economische ontwikkeling. Hieronder wordt deze vraag stapsgewijs uitgewerkt aan de hand van huidige kengetallen en verwachtingen over toekomstige kostenreductie en efficiencyverbetering.

Om de uitstootreductie te bepalen wordt ook nagegaan hoeveel energie de mobiele panelen opleveren en hoeveel CO2-uitstoot dit scheelt ten opzichte van het meest relevante alternatief. Vervolgens worden deze cijfers vertaald naar macroniveau om zo na te gaan wat het effect van *solar mobility* op de klimaatdoelen is. In Nederland komt momenteel 30 procent van de CO2-uitstoot van mobiliteit (PBL 2022). Circa 85 procent van deze uitstoot is toe te schrijven aan het wegverkeer. Binnen het wegverkeer is personenautoverkeer verantwoordelijk voor de grootste emissies, met een aandeel van 45 tot 50 procent. Vrachtauto's nemen circa 24 procent voor hun rekening. Het bestelautoverkeer is goed voor 10 tot 12 procent. Bussen, motorfietsen en bromfietsen veroorzaken in totaal circa 3 procent van de uitstoot. De binnenvaart en de visserij leveren een bescheiden bijdrage aan de uitstoot door mobiliteit van in totaal circa 4 procent.

3.1 Zonnepanelen op auto's

In deze analyse gaan we ervan uit dat de extra energie die zonnepanelen opleveren gebruikt wordt voor de aandrijving van de elektromotor, zodat de auto minder stroom vanuit laadpalen nodig heeft en ook de actieradius wordt vergroot. Dit in tegenstelling tot de huidige reeds beschikbare systemen, die vooral de secundaire systemen, zoals verlichting, voorzien van elektriciteit. De extra energie vanuit zonnepanelen hangt uiteraard af van de grootte van de auto. Omdat die sterk verschilt werken we hieronder twee rekenvoorbeelden uit, een voor een kleine en een voor een grote auto. Hierbij gaan we in eerste instantie uit van de huidige stand van de technologie, maar maken we ook een prognose voor 2030.

3.1.1 Aannames

Kosten

De kosten van één m2 zonnepaneel voor een auto zijn nog niet heel precies vast te stellen. Het is een nieuwe technologie, die nog maar op kleine schaal is toegepast en daarmee zijn er nog geen standaardtarieven, bijvoorbeeld van toeleveranciers. De panelen zijn complex om te fabriceren, omdat ze gevormd moeten worden naar de carrosserie van de auto. Wel bestaan enkele analyses die zich baseren op de kostprijs van benodigde materialen, waarbij ook rekening is gehouden met de kosten van benodigde additionele elektronica en de kosten van installatie. De analyse van Newman et al. (2021) komt tot een huidige kostprijs van 1,48 euro per Wattpiek (Wp).

Wattpiek is de opbrengst van het paneel in optimale omstandigheden, dus wanneer de zon fel schijnt⁴. Dit impliceert dat een paneel van een vierkante meter met een capaciteit van 250 Wp, zo'n 370 euro kost. Omdat de materiaalkosten sterk zijn gestegen sinds dit onderzoek en omdat uit gesprekken blijkt dat de huidige kosten hoger liggen, is deze berekening een onderschatting voor de huidige prijs. Een schatting van 500 euro per m² is realistischer. Daarom gaan we hiervan uit in deze analyse, waarmee we aan de conservatieve kant zitten.

Over een langere periode bezien is duidelijk dat de kosten van zonnepanelen dalen. Dit is logisch gezien de ontwikkeling van deze technologie en de steeds grotere schaal waarop ze worden geproduceerd. Zo kostte een conventioneel paneel (dus niet geschikt voor auto's) 11 euro per Wp in 1980 en daalde dit naar 1,25 euro in 2011 en daalde verder naar 0,30 euro in 2020. Vooruitkijkend naar de kosten van panelen in 2030 ligt een lagere kostprijs dus voor de hand, zeker wanneer de techniek aanslaat en de panelen in grote aantallen geproduceerd zal worden. De eerder genoemde studie (Newman et al. 2021) raamt dat de kosten van zonnepanelen voor auto's halveren in 2030. Een andere studie (Heinrich et al. 2020) gaat zelfs uit van een kostprijs van 75 euro per m² (0,40 euro per Wp), als de panelen op grote schaal (50.000 p.j.) worden geproduceerd. Deze analyse gaat voorzichtigheidshalve uit van een halvering van de kostprijs ten opzichte van het huidige niveau, ofwel 250 euro per m² in 2030.

Energieopbrengst

De opgewekte energie van zonnepanelen hangt af van de technische kenmerken van het paneel, de oppervlakte van de panelen en het aantal uren zonneshijnt. Het rendement van zonnepanelen ligt momenteel rond de 0,20 tot 0,25 kWp voor panelen die op een auto kunnen worden geplaatst. Dit komt overeen met een energieomzetting van 20 tot 25 procent van de aanwezige zonne-energie per vierkante meter. Geavanceerde modellen, zoals die van Lightyear, leveren tot 0,25 Wp per vierkante meter op. In de praktijk zal de opbrengst lager liggen, afhankelijk van de weersomstandigheden en andere factoren zoals schaduw. Deze analyse gaat uit van een efficiency van 23 procent voor de huidige panelen. Dit is iets aan de hoge kant vergeleken met wat momenteel op de markt is en kan daarom worden geïnterpreteerd als een maximum. Bij de omzetting van opgewekte elektra in stroom voor de motor (via de batterij) treedt ook energieverlies op. We gaan hier uit van een systeemefficiency van 87 procent, vergelijkbaar met zowel Heinrich et al. (2020) als Sierra Rodriguez et al. (2020). Daarnaast gaat de analyse uit van een schaduwafslag van 30 procent aangezien een auto niet altijd in de zon zal staan, bijvoorbeeld vanwege de schaduw door gebouwen en bomen en omdat auto's gedeeltelijk in een parkeergarage zullen staan. Ook zullen mensen juist op warmere dagen geneigd zijn om hun auto in de schaduw te parkeren. Een schaduwafslag van rond de 30 procent wordt ook in andere studies gebruikt (Heinrich et al. (2020) en Sierra Rodriguez et al. (2020).

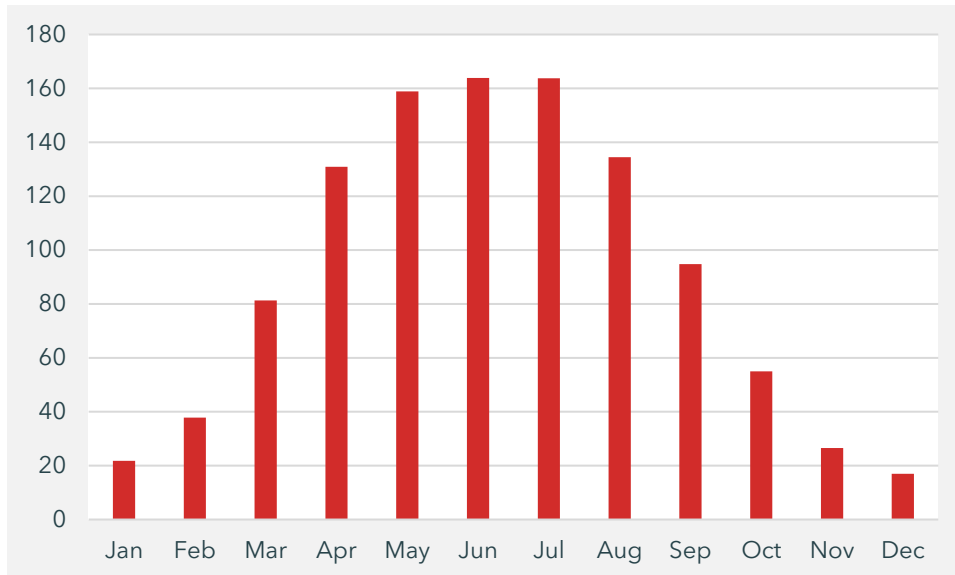
De hoeveelheid energie die zonnepanelen op auto's opleveren, is afhankelijk van de paneeloppervlakte. Middelgrote en grote auto's hebben een dakoppervlak van 2,1 tot 2,5 vierkante meter. Als een groter deel van de auto wordt bedekt kan een groter oppervlak worden bereikt. De Lightyear 0 had bijvoorbeeld een oppervlak van 5 vierkante meter aan zonnepanelen geïntegreerd in de auto. Dit komt omdat de zonnepanelen niet alleen op het dak zijn gemonteerd, maar ook op de zijkanten, motorkap, kofferbak en andere oppervlakken van de auto. De Squad City Car is een micro-auto, maar heeft een oppervlak van 2,4 vierkante meter aan geïntegreerde zonnepanelen. Deze analyse gaat uit van een oppervlak van 2 m² voor een kleine auto en 5m² voor een grote auto.

Ook is het rendement van zonnepanelen afhankelijk van het aantal zonuren. Onderstaande grafiek toont de zonne-energie per m² in Amsterdam per maand waarbij de zonne-energie is gemiddeld over de jaren 2005 tot 2020. Een zonnepaneel met een efficiency van 25 procent kan dus een kwart van deze energie absorberen en omzetten in

⁴ Gewoonlijk worden zonnepanelen beoordeeld op STC, wat betekent dat een paneel met een nominaal vermogen van zeg 250Wp een vermogen van 250W geeft bij STC, waarbij STC staat voor het stralingsniveau van 1000W/m² en een celtemperatuur van 25 °C.

elektriciteit. Duidelijk is dat de opbrengst in de zomer veel hoger is dan in de winter, ongeveer achtmaal zo hoog. In totaal levert de zon per jaar 1086 kWh aan energie per m².⁵ De analyse neemt de zonne-energie in Amsterdam als uitgangspunt.

Figuur 3.1 Zonne-energie per m² in Amsterdam (totaal per maand)



Bron: EU Photovoltaic Geographical Information System

Energieverbruik auto's

Het energieverbruik van een elektrische auto wordt weergegeven in kilowattuur per kilometer (kWh/km) en is afhankelijk van verschillende factoren, zoals de grootte en het gewicht van de auto, de rijstijl van de bestuurder, de temperatuur en de rijomstandigheden. Voor de huidige elektrische auto's geldt dat een grotere of minder efficiënte auto ongeveer 0,25 kWh/km verbruikt. Denk aan een Audi e-tron of een Mercedes EQC. Een kleinere of efficiënte elektrische auto verbruikt ongeveer 0,15 kWh/km. Denk aan een Tesla Model 3 of Volkswagen ID 3. De Lightyear 0 is een zeer efficiënte auto en verbruikt slechts 0,105 kWh/km. In deze analyse gaan we ervan uit dat een kleine auto tussen de 0,15 kWh verbruikt en een grote auto 0,25 kWh.

Tabel 3.1 Opbrengst en verbruik van zonneauto's

	Grote auto	Kleine auto
Oppervlakte zonnepanelen	5 m ²	2 m ²
Watt Peak vermogen	1.150 watt	260 watt
Systeemefficiëncy	87%	87%
Schaduwfactor	-30%	-30%
Kosten panelen	2.500 euro	1.000 euro
Verbruik	0,25 kWh/km	0,15 kWh/km

Bron: Berekeningen SEO

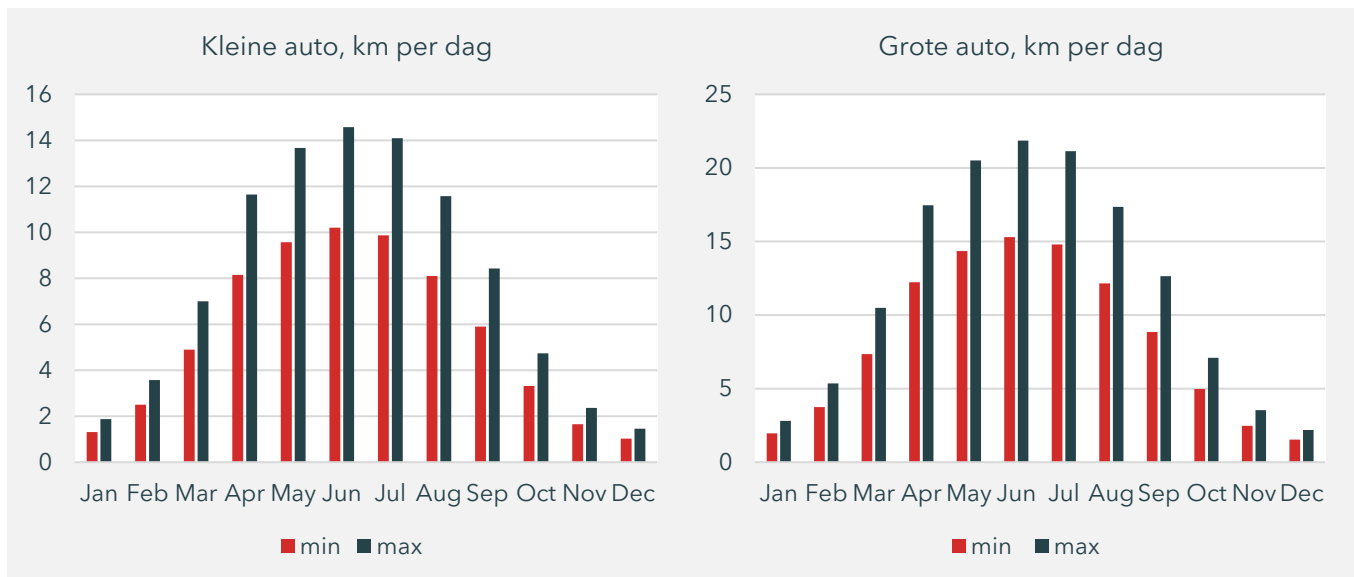
⁵ https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

3.1.2 Uitkomsten

Extra kilometers

Op basis van bovenstaande aannames kan worden uitgerekend hoeveel kilometer een auto per dag kan rijden op basis van de energieopbrengst van de zonnepanelen, zie Figuur 3.2. Dit verschilt van maximaal 22 km voor de grote auto in juli tot slechts enkele kilometers voor zowel de grote als kleine auto in de winterse maanden. Ook is duidelijk dat het veel uitmaakt als een auto tijdens het dagelijks gebruik in de schaduw staat. Bij een afslag van 30 procent vanwege schaduw daalt de maximale afstand tot zo'n 15 km per dag voor de grote auto en zo'n 10 km voor de kleine auto in de zomermaanden. Aangezien auto's niet altijd in de zon zullen staan en ook anderen deze afslag hanteren lijkt dit een redelijk scenario voor dagelijks gebruik. Overigens is een aanname bij deze analyse dat de batterijcapaciteit voldoende is om alle opgewekte energie op te slaan.

Figuur 3.2 Extra bereik door zonnepanelen op een auto over het jaar



Bron: Berekeningen SEO en EU Photovoltaic Geographical Information System

Aandeel panelen in energiebehoefte

De extra kilometers vanwege de elektriciteit uit zonnepanelen kan worden afgezet tegen het dagelijks verbruik. In Nederland rijdt een automobilist gemiddeld circa 10.000 km per jaar, wat overeenkomt met 30 km per dag (CBS). In de zomermaanden kan met de grote auto dus vrijwel alle energie voor het woon-werkverkeer vanuit de panelen worden opgewekt, maar in de winter gaat het slechts om een beperkt deel. Op jaarbasis levert het paneel van de kleine auto tussen de 300 en 435 kWh op. Dat is voldoende om 2.000 tot 2.900 km af te leggen. Voor de grote auto geldt een opbrengst van 760 tot 1085 kWh, waarbij zo'n 3.040 tot 4.340 km kan worden afgelegd.

Terugverdientijd

Om de terugverdientijd van zonnepanelen op auto's te berekenen, vergelijken we de kosten van de panelen met de besparing doordat minder stroom uit laadpalen nodig is. Uitgaande van bovenstaand scenario levert een vierkante meter paneel per jaar 150 kWh aan elektriciteit op. Eind 2022 kostte elektriciteit uit een laadpaal gemiddeld 0,47 euro per kWh (CBS). De jaarlijkse besparing is daarmee 71 euro. Als het autofabrikanten lukt om panelen te produceren tegen een kostprijs van 500 euro per vierkante meter, dan duurt het 7,2 jaar voordat de

kosten zijn terugverdiend. De panelen hebben een levensduur van ongeveer tien jaar. De propositie lijkt momenteel dus nog beperkt kansrijk vanuit een financieel perspectief.

De terugverdientijd zal de komende jaren naar verwachting sterk verbeteren. Uitgaande van een toename van efficiency van de panelen tot 30 procent en een halvering van de prijs naar 250 euro per paneel in 2030, neemt de terugverdientijd af naar 2,8 jaar.

Besparing CO₂-uitstoot

Zonnepanelen op auto's reduceren de CO₂-uitstoot. Zoals hierboven is uitgerekend leveren zonnepanelen op een grote auto zo'n 924 kWh per jaar op (gemiddelde tussen min en max scenario) en is dit voor kleine auto's 369 kWh. Deze energie hoeft dus niet onttrokken te worden aan het Nederlandse energienetwerk. In vergelijking met andere landen heeft Nederland een relatief hoge uitstoot per kWh netwerkelektriciteit van circa 320 gram CO₂ per kWh. Dit is vergelijkbaar met Duitsland (300 gram / kWh), maar hoger dan in het VK, Italië en Spanje (200 gram / kWh), terwijl Frankrijk met 50 gram / kWh duidelijk het minst uitstoot.

Voor de CO₂-reductie van een VIPV geldt in Nederland dat deze gelijk is aan 277 kg per jaar voor een grote auto en 111 kg per jaar voor een kleine auto. Hier staat wel tegenover dat bij de productie van zonnepanelen voor auto's ook CO₂ vrijkomt (Newman et al. 2020). Dit is circa 1,2 kg per Wp, ofwel 600 kg voor een grote en 480 kg voor een kleine auto. Op basis van een levensduur van tien jaar dient de jaarlijkse CO₂-besparing dus verminderd te worden met respectievelijk 60 en 48 kg. Per saldo gaat het dus om een besparing van circa 217 kg voor een grote en 63 kg voor een kleine auto.

Naar verwachting zullen in 2030 zo'n 1,9 mln. elektrische auto in Nederlands rondrijden (zie Klimaatakkoord 2019). Stel dat zo'n tien procent daarvan een VIPV is en dat een VIPV gemiddeld de uitstoot reduceert met 182 kg per jaar (midden tussen grote en kleine auto en met efficiency van 30 procent). Dan vermindert de opkomst van VIPV de uitstoot met 34.6 mln. kg, ofwel 0,035 megaton. Dit is 0,23 procent van de huidige uitstoot van personenauto's (van momenteel circa 15 megaton, zie CBS). De uitstootbeperking door de VIPV is in 2030 naar verwachting dus beperkt. Daar komt nog bij dat in dit scenario is verondersteld dat de gemiddelde uitstoot van elektriciteit uit laadpalen op 300 gr / kWh blijft, terwijl het beleid erop gericht is dit te verlagen. Bij een lagere uitstoot in 2030 neemt de verlaging door inzet van VIPV af.

3.2 Zonnepanelen op vrachtauto's

Zonnepanelen op vrachtwagens hebben in potentie twee functies. Ten eerste kunnen ze worden aangewend om de elektrische systemen van de vrachtauto van stroom te voorzien, zoals het koelen van een lading of de verlichting. Dit is waar de huidige systemen vooral voor zijn bedoeld. Ten tweede kan de opgewekte elektriciteit worden gebruikt om de motor van een elektrische vrachtauto te voeden. Hieronder behandelen we beide opties.

3.2.1 Aannames

Kosten van de panelen

Zonnepanelen voor vrachtauto's hoeven niet gebogen te worden en zijn daarom minder duur om te fabriceren dan panelen voor auto's. Omdat we momenteel nog maar weinig waarnemingen hebben over de kosten van deze panelen rekenen we voorsnog met een brede kostenmarge van 7.500 tot 10.000 euro voor het plaatsen van 32 vierkante meter aan panelen op een 13 meter lange trailer.

Energieopbrengst

Voor de energieopbrengst gaan we uit van even efficiënte panelen als bij auto's, namelijk van 23 procent (0,23 kWp / m²), zodat in totaal 7,4 kWp beschikbaar is. Op basis van de zonne-uren in Amsterdam, leveren de panelen zo'n 8.000 kWh per jaar op. In de zomer zijn er uiteraard meer zonne-uren dan in de winter, waarbij het aardig is om te bedenken dat dit goed correspondeert met de energievraag van een koelwagen, die immers ook hoger is in de zomer.

Verbruik van het voertuig

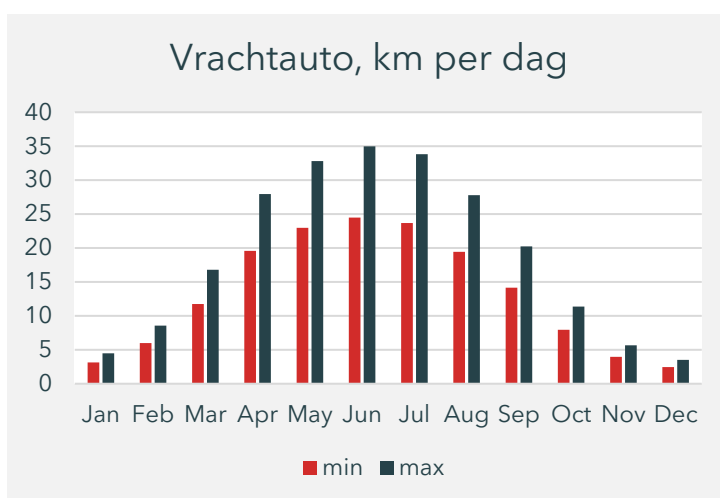
Om het verbruik te bepalen is allereerst van belang wat het gebruiksprofiel is van de vrachtauto. We gaan hier uit van zo'n 100.000 km per jaar (IEA 2021), verdeeld over zes werkdagen en dus 320 km per werkdag van acht uur. Het energieverbruik van een koelwagen verschilt sterk, afhankelijk van de gewenste koeltemperatuur en de buitentemperatuur. Analyses van TU/Delft toont aan dat bij een ladingtemperatuur van - 5° C en een buitentemperatuur van 21 graden de koeling circa 1,05 liter per uur kost en dat dezelfde koeling kan worden bereikt met 1,33 kWh⁶. Als we ervan uitgaan dat de koeling van de vrachtwagen 70 procent van de tijd aan staat, zoals blijkt uit een casestudie (zie IEA 2021), wanneer deze onderweg is (dus 0,7 x 8 uur per dag), dan verbruikt deze dus 5,9 liter diesel of 7,45 kWh. Het is mogelijk om met de modernste elektrische vrachtwagens bovenstaand gebruiksprofiel te rijden op basis van batterijcapaciteit. We gebruiken dit profiel dus voor de eenvoud ook voor een elektrisch aangedreven vrachtwagen. De motor van zo'n vrachtwagen verbruikt circa 1 kW per km.

3.2.2 Uitkomsten

Extra kilometers

Een vrachtauto kent een betere verhouding tussen het zonne-oppervlak en verbruik per kilometer dan een personenauto en kan dus dagelijks meer kilometers afleggen op basis van de zelf opgewekte elektriciteit. In de zomer gaat het om zo'n 25 tot 35 km en in de winter om slechts enkele kilometers, zie Figuur 3.3. Dit is maar een klein aandeel van de 320 km die de vrachtwagens in het hier gekozen gebruikersprofiel rijden. Dit impliceert dat de zonnepanelen weinig effect hebben op het aantal keer dat een elektrische vrachtwagen de batterij moet opladen.

Figuur 3.3 Extra bereik door zonnepanelen op een vrachtauto over het jaar



Bron: Berekeningen SEO en EU Photovoltaic Geographical Information System

⁶ <https://engineeringnet.be/nl/nieuws/item/7002/studenten-vergelijken-koelen-van-truckladingen-met-diesel-en-op-stroom>

Terugverdiëntijd

Als de panelen alleen worden gebruikt voor de elektriciteit die nodig is voor de koelinstallatie, dan is hiervoor voldoende capaciteit aanwezig. Dit energieverbruik kan dus volledig door de panelen worden overgenomen. De opbrengst hiervan is afhankelijk van de dieselprijs, die immers het alternatief is. Deze is behoorlijk volatiel. We gaan hier uit van de meest recente prijs van 1,50 euro per liter (in week 10 van 2023, zie [evofenedex.nl](https://www.evofenedex.nl)). Op basis hiervan is de besparing zo'n 8,85 euro per dag en zo'n 2.655 euro per jaar. Daarmee zijn de panelen in zo'n 3,0 tot 3,8 jaar terugverdiend. Bij een daling van de brandstofprijs met tien procent stijgt dit naar 3,3 tot 4,2 jaar.

Per jaar produceren de zonnepanelen effectief zo'n 4.868 kWh, als rekening wordt gehouden met systeemverlies en schaduwverlies. Als deze energie gebruikt worden om de motor aan te drijven, dan hoeft minder energie van een laadinstallatie aangetrokken te worden. De elektriciteitskosten van een vrachtwagen zijn echter lager dan voor een personenauto, aangezien deze bij de vervoerder zelf zullen worden opgeladen. Daarom gebruiken we hier een tarief van 0,25 euro per kWh.⁷ Dit impliceert een jaarlijkse besparing van 1.217 euro, duidelijk minder dan bij een koelwagen. Daarmee kost het 6,2 tot 8,2 jaar voordat de panelen zijn terugverdiend. Vanwege de lagere kosten voor elektriciteit zijn zonnepanelen op een elektrische vrachtwagens dus duidelijk minder rendabel dan op een koelwagen met een dieselmotor.

Voor beide mogelijkheden kan een prognose voor de terugverdiëntijd in 2030 worden gemaakt. Daarbij gaan we uit van een prijsdaling van 7 procent per jaar van zonnepanelen, gelijk aan de daling over de afgelopen tijd van vlakke zonnepanelen, tot 60 procent van de huidige prijs, een toename van de efficiency tot 30 procent en een gelijke dieselprijs. Op basis hiervan neemt de terugverdiëntijd bij een diesel-koelwagen af tot zo'n 1,4 tot 1,8 jaar. Voor een elektrische vrachtwagen neemt de terugverdiëntijd af naar 2,9 tot 3,8 jaar.

CO2-reductie

Voor een koelwagen kan op basis van de afname van het dieselverbruik de CO2-reductie eenvoudig worden bepaald. De uitstoot per liter diesel is ongeveer 2,6 kg. De dieselbesparing is 1.840 liter per jaar ofwel 4.784 kg CO2 per jaar. De productie van de panelen leidt echter tot een uitstoot van 1,2 kg per Wp, ofwel 8.800 kg per vrachtauto. Uitgaande van een levensduur van tien jaar is dit 88 kg per jaar. Per saldo leveren de panelen dus een uitstootreductie van 4.696 CO2 per jaar. Dit is ongeveer 3 procent van de totale huidige CO2-uitstoot van vrachtauto's. Daarmee is de reductie bescheiden. Ook is er slechts een beperkt aantal koelwagens, waardoor de uitstootreductie op macroniveau evenzeer beperkt is.

Voor een macroblik is interessanter om na te gaan wat het effect is van zonnepanelen op elektrische vrachtwagens, wanneer het gebruik hiervan toeneemt. Naar verwachting zullen in 2030 zo'n 10.000 elektrische vrachtwagen in NL rondrijden (Klimaatakkoord 2019). Als we er vanuit gaan dat 10 procent daarvan zonnepanelen op het dak heeft, en de efficiency met 30 procent toeneemt (naar 30 procent van de zonnerradiatie) dan is de totale elektriciteitsproductie 7.670 mWh ($1.000 \times 5.900 \text{ kWh} \times 1,3$). Deze energie hoeft niet langer aan het Nederlandse energienetwerk te worden onttrokken. Dit leidt tot een CO2-reductie van 0,0023 megaton, op basis van de huidige energiemix binnen het netwerk. Dit is ongeveer 0,034 procent van de huidige uitstoot van vracht- en bestelauto's in Nederland (6.730 mln. kg) en dus een bescheiden hoeveelheid.

⁷ zie <https://logistiek010.nl/alles-over-elektrisch-rijden/>

3.3 Zonnepanelen op schepen

Schepen zijn er in veel verschillende typen die moeilijk met elkaar te vergelijken zijn. Wel is duidelijk dat al op veel verschillende schepen zonnepanelen worden gebruikt. Ook bestaan al meerdere studies naar de economische haalbaarheid hier. Zo hebben Karatuğ en Durmuşoğlu (2020) berekend dat een PV-installatie op een groot schip (200 m) een terugverdientijd heeft van 7 tot 12 jaar. Voor een veerboot ligt de terugverdientijd al bij drie jaar (Wang et al. 2019). Daarmee lijken zonnepanelen op schepen in algemene zin een kansrijke technologie, al zijn er ook schepen waarbij zonnepanelen geen eenvoudige toevoeging zijn, zoals containerschepen of tankers zonder vlak dekoppervlak.

Voor de Nederlandse markt zijn momenteel vooral de binnenschepen relevant. In deze markt is er immers een Nederlandse producent actief (in samenwerking met een Belgisch bedrijf). Daarom kijken we in het rekenvoorbeeld naar dit type schepen. Bij zulke schepen woont het gezin van de schipper aan boord en is het energieverbruik dus voor een belangrijk deel het huishoudgebruik van het schippersgezin. Daarnaast zijn er ook andere elektrische systemen, waaronder de verlichting van het schip. Voorstuwing gebeurt momenteel nog vrijwel uitsluitend door brandstofmotoren, al zal dit op termijn waarschijnlijk veranderen als ook schepen duurzamer worden. In 2022 is een Groeifondsvoorstel van 50 mln euro gehonoreerd voor een pilot waarin 45 schepen gebruik kunnen maken van 75 batterijcontainers en 14 oplaadpunten, om zo elektrisch aangedreven varen beter mogelijk te maken.

3.3.1 Aannames

Kosten van een paneel

De kosten van het installeren van zonnepalen op een binnenvaartschip hangen uiteraard sterk af van de omvang van het schip en de beschikbare luiken. In een rekenvoorbeeld geeft WattLab aan dat een systeem geïnstalleerd kan worden voor 97.000 euro inclusief de kosten van accu en installatie en na aftrek van subsidies.

Energieopbrengst

De energieopbrengst van dit systeem is circa 35 kWp en een opbrengst van 27.000 kWh per jaar. Dit kan momenteel al worden gebruikt voor de verschillende systemen die elektriciteit gebruiken, inclusief de woning op het schip. Bij elektrische schepen, die momenteel ook voor de binnenvaart in ontwikkeling zijn, kan de opgewekte elektra ook worden gebruikt voor de aandrijving van de motoren.

Verbruik van het schip

Het verbruik van secundaire systemen van een binnenvaartschip ligt op ongeveer 6 kW per dag, wanneer het aan de wal ligt en 12 kW per dag wanneer het vaart. Het verbruik van elektromotoren is afhankelijk van verschillende factoren, zoals lading en stroming en is daarom niet eenvoudig vast te stellen, zeker niet omdat er nog maar weinig elektronisch aangedreven schepen bestaan. Wel is duidelijk dat een binnenvaartschip veel meer energie nodig heeft dan met de huidige zonnepanelen kan worden opgewekt. Daarom kunnen we er in de berekening vanuit gaan dat alle opgewekte energie een besparing zal zijn ten opzichte van het alternatief. Als alternatief gaan we uit van walstroom tegen met een prijs van 0,27 euro per kWh.⁸ Er bestaat ook een ander alternatief, namelijk het plaatsen van een container met batterijen, maar omdat dit een nieuwe ontwikkeling is en niet de standaard, laten we deze hier buiten beschouwing.

⁸ <https://connect4shore.nl/tarieven/>, walstroom is 0,27 euro

3.3.2 Uitkomsten

Terugverdientijd

Wanneer de elektra wordt gebruikt voor de secundaire systemen van het schip bespaart het schip brandstof, die anders met een generator moet worden opgewekt. Volgens berekeningen van WattLab kan zo 15.000 liter brandstof worden bespaard. De prijs van de door binnenvaartschepen gebruikte gasolie bedraagt 1.024 euro per kuub (op 6 maart 2023). De jaarlijkse besparing van 15 kuub leidt dus tot een kostenvermindering van 15.360 euro per jaar. Doordat de generator op het schip minder gebruikt hoeft te worden ontstaat een additioneel voordeel van circa 1.740 per jaar. Dit leidt tot een terugverdientijd van 5,7 jaar

Wanneer de elektra wordt gebruikt op een elektrisch schip, voor aandrijving dan wel secundaire systemen, dan is geen sprake van een generator, maar wordt energie bespaard die anders aan de wal onttrokken moet worden. Uitgaand van 0,30 euro per kWh en 27.000 kWh per jaar, leidt dit tot een besparing van 7.290 euro per jaar. Op basis hiervan is de terugverdientijd langer, namelijk 13,3 jaar.

De terugverdientijd daalt als panelen efficiënter en goedkoper worden. Uitgaande van dezelfde prognose hierover als bij panelen voor vrachtauto's, daalt de terugverdientijd in 2030 tot 2,6 jaar voor een dieselschip en tot 5,5 jaar voor een elektrisch schip.

CO₂-reductie

De CO₂-reductie door de besparing op gasolie bedraagt jaarlijks circa 49.000 kilo per schip. Bij een elektrisch schip waarvan de batterijen worden opgeladen op basis van walstroom (al dan niet via een container) is de CO₂-reductie circa 8.100 kilo per jaar. Momenteel zijn er in Nederland ongeveer 5.000 binnenvaartschepen, waarvan er zo'n 1.600 in potentie geschikt zijn voor het plaatsen van zonnepanelen. Als we de aanname maken dat in 2030 zo'n 10 procent van deze schepen zonnepanelen heeft geplaatst, dan is de totale CO₂-reductie 0,0078 megaton, als we er vanuit gaan dat deze stroom door een generator op het schip zou zijn geleverd. Het leidt tot een reductie van 0,0013 megaton, wanneer het alternatief walstroom is. Dit is tussen de 0,1 en 0,016 procent van de huidige uitstoot van de Nederlandse scheepvaart (binnenvaart en visserij, 7.900 mln. kg).

4 Perspectief solar mobility sector

Het perspectief van de Nederlandse *solar mobility* sector, hangt niet alleen samen met de economische haalbaarheid van zonnedaken, maar ook met de wensen van gebruikers en de buitenlandse concurrentie.

Deze analyse heeft twee kernvragen, namelijk: is de Nederlandse solar mobility sector kansrijk en kan zonnemobiliteit bijdragen aan CO₂-reductie? Om deze vragen te beantwoorden bespreekt dit hoofdstuk per marktsegment het gebruikersperspectief, de positie van Nederlandse bedrijven en de potentiële CO₂-reductie. Uitgangspunt hierbij is de analyse uit het vorige hoofdstuk, die in Tabel 4.1 hieronder is samengevat. Omdat energieprijzen momenteel relatief hoog zijn in vergelijking met de afgelopen jaren, is als gevoeligheidsanalyse ook kolom opgenomen met de terugverdientijden wanneer energieprijzen met tien procent zouden dalen.

Tabel 4.1 Terugverdientijden en CO₂-reductie door solar mobility

		Terugverdientijd	Terugverdientijd bij 10% daling brandstofprijzen	Terugverdientijd	CO ₂ -reductie	CO ₂ -reductie
		2023	2023	2030	2030	2030
		In jaren	In jaren	In jaren	In mln. kg	% emissie 2021
Auto	Elektrisch	7,2	7,8	2,8	34,6	0,23
	Vrachtauto	Diesel	3,0 - 3,8	3,3 - 4,2	1,4 - 1,8	-
Scheepvaart	Elektrisch	6,2 - 8,2	6,8 - 9,1	2,9 - 3,8	2,3	0,034
	Gasolie	5,7	7,0	2,6	7,8	0,1
	Elektrisch	13,3	14,8	6,1	1,3	0,016

Bron: Berekeningen SEO

4.1 Personenauto's

4.1.1 Perspectief gebruiker

Voor een particulier die overweegt een auto met zonnepanelen te kopen is een aantal factoren van belang. Ten eerste de terugverdientijd van de panelen zelf. Die is momenteel nog relatief lang, maar neemt de komende jaren af, omdat panelen efficiënter worden en de kosten zullen dalen. Ten tweede biedt zo'n auto het gebruiksvoordeel dat deze minder vaak opgeladen hoeft te worden. Dit voordeel speelt vooral in de zomer. In de winter is het aantal zonnekilometers immers beperkt. Daarmee ligt voor de hand dat eigenaren van een zonneauto behoefte hebben aan dezelfde faciliteiten als bij een elektrische auto zonder zonnepanelen. Denk aan een laadpaal in de buurt van het huis en het werk en genoeg laadpalen langs wegen, zodat de auto ook in de winter kan worden gebruikt. *Solar mobility* neemt de vraag naar deze infrastructuur niet weg. Het belangrijkste verschil zal zijn dat door de aanwezigheid van zonnepanelen minder elektriciteit wordt afgenomen, laadbeurten korter zijn en dat in de zomer af en toe een laadstation kan worden overgeslagen, afhankelijk van het precieze rijprofiel van de gebruiker. Een derde gebruiksvoordeel is dat zonnepanelen de levensduur van de batterijen van de auto verlengen. De mate

waarin de levensduur wordt verlengd hangt af van het rijprofiel en verschillende andere variabelen, maar het kan gaan om 9 procent verlenging (Mallon e.a. 2017). Ten vierde heeft zo'n modern item als een zonnedak een positieve, hightech en duurzame uitstraling, waar sommige consumenten ook wel iets voor over hebben. Verschillende gesprekspartners noemden dit het positieve imago, al is het lastig dit te kwantificeren in termen van betalingsbereidheid. Tot slot biedt een zonneauto enige vorm van autonomie, in de zin dat ook wanneer de batterij is leeggereden, het mogelijk is om na een paar uur zon weer een aantal kilometers te rijden. Dit kan van pas komen wanneer een geplande laadpaal niet bleek te werken, zodat een alternatief gezocht moest worden, of wanneer het verbruik verkeerd is ingeschat. Meerdere gesprekspartners wijzen op dit voordeel van autonomie.

Naast deze voordelen is het belangrijkste nadeel dat de aanschafkosten van een auto hoger zullen zijn door de integratie van zonnepanelen. Zoals hierboven uiteengezet gaat het al snel om 1.000 euro voor een dak van twee vierkante meter. Dit is vooral voor particulieren die zelf hun auto financieren een nadeel. Voor leasemaatschappijen, die zich juist specialiseren in de financiering van een autopark, speelt die nadeel veel minder. Zij kunnen een auto met zonnepanelen aanbieden tegen een lager maandbedrag, dan dezelfde auto zonder panelen, wanneer de panelen zich inderdaad voldoende snel terugverdienen. Een tweede nadeel is dat zonnepanelen voorsnog alleen nog in donkere kleuren te verkrijgen zijn en ook geen licht doorlaten, zodat een auto met zonnedak niet langer tot de mogelijkheden behoort.

Al met al lijkt zeker op termijn, als de prijzen dalen, wel vraag te zullen ontstaan naar auto's met zonnepanelen. Voor de calculerende bestuurder verlaagt het de kosten van een elektrische auto en biedt het in de zomer tijdswinst en flexibiliteit. Dit gaat wel gepaard met een iets hogere aanschafprijs en mogelijk esthetische nadelen. In Australië is onderzoek gedaan naar de betalingsbereidheid van particulieren (Ghasri et al. 2020). Hieruit blijkt dat ze tussen de 15 en 30 euro extra willen betalen per extra km actieradius. Dus een auto die gemiddeld per jaar een hogere actieradius van 10 km heeft, mag zo'n 150 tot 300 euro duurder zijn. Dit verlaagt de terugverdientijd iets verder ten opzicht van de berekeningen hier, maar niet veel.

4.1.2 Markt en positie Nederlandse bedrijven

Momenteel is de beschikbaarheid van auto's met een zonnedak nog zeer beperkt. Slechts enkele merken bieden een auto met zonnedak aan en dit alleen voor de opwekking van elektriciteit voor secundaire systemen, zoals de airconditioning en verlichting. Een door gesprekspartners genoemde reden dat het aanbod nog wel enige tijd beperkt zal blijven is dat autofabrikanten beducht zijn voor terugroepacties, wanneer blijkt dat zo'n innovatie toch niet voldoet in de praktijk. Daarmee is het waarschijnlijk dat zonnedaken op auto's nog enige tijd vooral als premium optie worden aangeboden, totdat voldoende praktijkervaring is opgedaan met het gebruik van zo'n dak.

Er bestaan verschillende prototypes van auto's waarbij de opgewekte elektriciteit gebruikt wordt voor aandrijving. Zulke auto's verkeren echter nog in de ontwikkelfase. Er zijn geen fabrikanten die deze auto's grootschalig produceren. Ook enkele Nederlandse bedrijven hebben de ambitie zulke zonneauto's te produceren, waarvan Lightyear de grootste is. Deze bedrijven ontwikkelen elektrische auto's met geïntegreerde zonnepanelen, waardoor ze gedeeltelijk in de eigen energiebehoefte kunnen voorzien. Een uitdaging voor nieuwe producenten is het realiseren van de benodigde schaal en het weerstaan van concurrentiedruk in de markt voor personenauto's. De markt voor personenauto's is zeer competitief en schaalvoordelen spelen een grote rol. Deze is dus moeilijk te betreden voor nieuwe producenten. Wereldwijd heeft zich de afgelopen decennia een consolidatieslag voorgedaan, waarbij de markt steeds geconcentreerder werd met enkele clusters van zeer grote wereldwijd opererende autoproducenten.

Tegen deze achtergrond verbaast het niet dat nieuwe toetreders het zwaar hebben. Niet alleen het Nederlandse Lightyear kampt met financiële uitdagingen. Ook het Duitse Sono Motors, dat eveneens auto's met een zonnedak wilde produceren, is onlangs failliet gegaan. Het is dan ook de vraag of het kansrijk is om de introductie van zonnepanelen op auto's vorm te geven door een geheel nieuwe auto te ontwikkelen en te produceren. Een alternatief zou wellicht kunnen zijn dat innovatieve bedrijven in deze sector zich toeleggen op die aspecten waarin ze meer expertise hebben dan de huidige autoproducenten en daarin optreden als toeleverancier. De technologie *an sich* is immers wel kansrijk. Waarschijnlijk zijn er voor een nichespeler zoals Squad Motors meer mogelijkheden om zelfstandig verder te gaan, gezien de lagere concurrentiedruk.

Lightyear maakt doorstart, na faillissement*

Het Nederlandse autobedrijf Lightyear dat zich heel specifiek toelegt op het produceren van zonaangedreven auto's, ging in januari 2023 failliet, maar kent inmiddels een doorstart. Reden van het faillissement was dat het bedrijf er niet in slaagde om de investeringen aan te trekken die nodig waren voor het in productie nemen van het eerste model, de Lightyear 0. Een doorstart werd mogelijk door het ophalen van 8 miljoen euro bij een groep van ruim driehonderd particuliere investeerders. Het nieuwe bedrijf zal in zeer afgeslankte vorm doorgaan en krimpen van ruim zeshonderd naar honderd medewerkers. Ook verandert het van strategie. De inzet is nu gericht op het ontwikkelen van een betaalbare gezinsauto op zonne-energie, de Lightyear 2. Deze zou in 2025 op de markt moeten komen voor een aanschafprijs van circa 40.000 euro. Om dit te bereiken zijn echter nog wel forse nieuwe investeringen nodig.

Lightyear beschikt over een fabriek voor de productie van zonnedaken voor auto's en heeft veel kennis en octrooien op dit terrein. Onderdeel van de strategie van Lightyear is dan ook om na te gaan of het haalbaar is om deze faciliteit en kennis in te zetten voor de productie van zonnedaken voor andere autoprodukten. Om deze reden was het essentieel voor de doorstart dat Lightyear de beschikking behield over de octrooien. Aangezien deze bij verschillende investeerders in onderpand waren gegeven, waren forse onderhandelingen nodig om dit voor elkaar te krijgen. Dit heeft de doorstart vertraagd. Momenteel is Lightyear in gesprek met verschillende autoproducenten over de toelevering van zonnedaken.

*Deze box is gebaseerd op openbare informatie.

4.1.3 CO2-reductie

Als de techniek om elektrische auto's te voorzien van zonnedaken inderdaad aanslaat, dan zal dit tot slechts een bescheiden reductie van de CO2-uitstoot leiden. In deze prognose zou het gaan om een reductie van enkele tienden van procenten in 2030, ten opzichte van de huidige uitstoot. Dit hangt samen met een nog relatief laag aantal auto's dat al in 2030 een zonnedak heeft volgens deze prognose. Bij auto's is de reductiepotentie op de lange termijn groter, aangezien een zonnedak kan voorzien in een aanzienlijk deel van de gereden kilometers.

4.2 Vrachtauto's

4.2.1 Perspectief gebruiker

Voor een transportbedrijf dat overweegt een vrachtauto aan te schaffen spelen vooral de kosten een rol. Als de terugverdientijd van zonnepanelen voldoende kort is, dan is het een rendabele investering en ligt het voor de hand om ze aan te schaffen. Zoals blijkt uit Tabel 4.1 is de terugverdientijd voor panelen op vrachtwagens nu al kort en deze neemt uiteraard nog verder af in 2030. Wat hierbij opvalt is de iets langere terugverdientijd voor elektrische vrachtauto's, wanneer puur naar de kosten van de panelen wordt gekeken. Daarnaast geldt als tweede voordeel, net als bij personenauto's, dat zonnepanelen de levensduur van de batterijen verlengen, al zal de praktijk moeten

uitwijzen hoe groot dit voordeel precies is. Een derde voordeel is dat zonnepanelen kunnen zorgen voor de huishoudstroom die een chauffeur gebruikt wanneer hij pauzeert of overnacht op een truckstandplaats. Dan hoeft hiervoor niet de luidruchtige en vervuilende stroomgenerator te worden gebruikt. Ten vierde kan ook voor transportbedrijven een groen imago waardevol zijn, zeker als het past bij de *branding* van het merk. Zelf opgewekte zonnestroom draagt hieraan bij.

Net als bij auto's is het voornaamste nadeel de investering die gemoeid is met de aanschaf van zonnepanelen. Voor financieel gezonde bedrijven zal die vaak geen groot probleem zijn, aangezien zij de 8.000 tot 10.000 euro die hiermee gemoeid is wel kunnen financieren. Maar voor bedrijven die lastiger aan financiering komen, kan het een reden zijn om deze investering niet te doen.

Op basis van bovenstaande argumenten kan worden geconcludeerd dat er ook voor vrachtauto's vraag zal zijn naar zonnepanelen. Essentieel hierbij is dat deze panelen een voldoende korte terugverdientijd hebben. Zowel voor diesel als elektrische vrachtwagens is de verwachte terugverdientijd voldoende snel om op termijn rendabel te zijn.

4.2.2 Markt en positie Nederlandse bedrijven

De markt voor zonnepanelen voor vrachtauto's is kansrijk en hierop is Nederland momenteel een relatief sterke speler. De Nederlandse partijen die actief zijn in deze markt hebben een prima uitgangspositie. Wanneer de markt voor zonnevrachtwagens verder groeit, hebben zij een product dat werkt en getest en gecertificeerd is. Potentiële concurrenten zijn minder ver. Wel is het ontwikkelen van zonnepanelen voor het platte dak van een vrachtwagen technisch gezien minder lastig dan bij een auto, zodat concurrenten de techniek ook sneller beheersen. De huidige Nederlandse bedrijven die actief zijn in deze markt leveren hun producten aan carrosseriebouwers, in Nederland en elders, die trailers maken voor grote vrachtauto's of kleinere laadwagens voor in de binnenstad. Of vraag is naar vrachtauto's met panelen wordt echter uiteindelijk door de koper bepaald. Denk aan een transportbedrijf of een supermarktketen. De Nederlandse producenten van zonnepanelen voor vrachtwagens zijn dan ook in contact met eindklanten om de voordelen van de technologie aannemelijk te maken.

4.2.3 CO2-reductie

De CO2-reductie door zonnepanelen op vrachtauto's is beperkt, aangezien het maar voor een klein deel in de energiebehoefte van een vrachtauto kan voorzien. Het gaat om enkele honderdsten van een procent van de huidige uitstoot. Vrachtwagens zijn immers zwaar en een groot deel van de dag onderweg (in vergelijking met personenauto's), waardoor het energieverbruik groot is.

4.3 Schepen

4.3.1 Perspectief gebruiker

Voor schippers die overwegen om zonnepanelen aan te schaffen speelt vooral de terugverdientijd rol. Als deze voldoende kort is, dan is het een rendabele investering en dus in het belang van de schipper om ze aan te schaffen. Zoals blijkt uit Tabel 4.1 is de terugverdientijd met 5.7 jaar al redelijk en naar verwachting zal deze verder dalen de komende jaren. Net als bij vrachtauto's is de terugverdientijd voor elektrische schepen langer dan voor schepen op fossiele brandstof. Een tweede voordeel is dat zonnepanelen kunnen zorgen voor de huishoudstroom van de

schipper. Hierdoor kan bespaard worden op het gebruik en dus de onderhoudskosten van de stroomgenerator en is de schipper minder afhankelijk van walstroom.

Net als bij vrachtauto's in het voornaamste nadeel de investering die gemoeid is met de aanschaf van zonnepanelen. Voor schepen gaat het om een fors bedrag, al blijkt uit gesprekken dat dit niet als grote belemmering geldt voor de momenteel veelal gezonde schippersbedrijven. Belangrijker is dat schippers vertrouwen moeten krijgen in de goede werking en duurzaamheid van de panelen in de praktijk. Naarmate meer schepen met panelen zijn uitgerust zal dit vertrouwen sneller groeien.

Op basis van bovenstaande argumenten kan worden geconcludeerd dat er ook voor schepen vraag zal zijn naar zonnepanelen. Een belangrijk element hierbij is de verwachte terugverdientijd. Die is al redelijk kort en zal verder dalen de komende jaren. Daarnaast zullen schippers nog wel vertrouwen moeten ontwikkelen in deze techniek.

4.3.2 Markt en positie Nederlandse bedrijven

In de scheepvaart heeft Nederland een goede uitgangspositie op het terrein van innovatie en zonnepanelen voor binnenvaartschepen. WattLab is een klein en innovatief bedrijf dat verdient aan het octrooirecht op de innovaties die zij doen. De productie en plaatsing van zonnepanelen is in handen van partnerbedrijven. Verdere doorontwikkeling van technologie voor de scheepvaart lijkt een logische weg voor dit bedrijf. Vooruitkijkend zijn er in de scheepvaart veel mogelijkheden voor zonnepanelen. De sector zal namelijk naar verwachting steeds vaker gebruikmaken van elektrische aandrijving, om zo de CO₂-uitstoot te beperken. Een belangrijke stimulans hierbij is het streven naar een emissievrije binnenvaart, zoals vastgelegd in de Green Deal zeevaart, binnenvaart en havens. De energie die schepen nodig hebben is echter fors en daarom zal als hoofdenergiebron waarschijnlijk op termijn worden overgestapt op batterijen en waterstof dat wordt omgezet in elektriciteit om een elektromotor aan te drijven. Zonnepanelen zijn in potentie een goede aanvulling op deze energiebronnen, zodat bespaard kan worden op het gebruik ervan, vergelijkbaar met de rol van zonnepanelen op elektrische vrachtwagens. Binnen Nederland is reeds een elektrisch aangedreven binnenvaartschip ontwikkeld. Deze wordt door waterstof van energie voorzien (project WEVA). Dit illustreert dat de innovaties van WattLab niet op zichzelf staan, maar passen bij andere innovatieve initiatieven binnen de Nederlandse binnenvaart.

4.3.3 CO₂-reductie

De CO₂-reductie door zonnepanelen op schepen is beperkt, aangezien het vooralsnog maar voor een beperkt deel in de energiebehoefte van schepen kan voorzien.

5 Knelpunten en beleid

Voor de *solar mobility* sector speelt een aantal bedrijfsmatige en beleidsmatige knelpunten. De meeste daarvan spelen ook in andere, vergelijkbare sectoren en worden waar zinvol geadresseerd door bestaand beleid. Specifiek beleid gericht op de kleine solar mobility sector ligt niet voor de hand, behalve mogelijk het verduidelijken van technische vereisten. Wel is te overwegen of generieke regelingen voldoende openstaan voor gebruik door de sector.

De *solar mobility* sector is een kleine, jonge bedrijfstak die bestaat uit verschillende typen bedrijven. Zo zijn er momenteel enkele autobedrijven die wel een prototype hebben ontwikkeld, maar nog geen auto in productie hebben. Enkele bedrijven zijn al verder in hun ontwikkeling en verkeren sinds kort in de productiefase. Bedrijven kunnen knelpunten ervaren, bijvoorbeeld door de levensfase van de onderneming (startup/scale-up) of het feit dat ze actief zijn in de technologische, innovatieve industrie. Zulke knelpunten voor de *solar mobility* sector kunnen aanleiding zijn voor overheidsingrijpen, met dien verstande dat de overheid al beleid voert gericht op innovatieve bedrijven en een legitimering voor nader overheidsingrijpen pas ontstaat als het huidige beleid niet voldoet. Dit hoofdstuk inventariseert achtereenvolgens bedrijfsmatige en beleidsmatige knelpunten voor de *solar mobility* sector, het bestaande beleid van toepassing op de sector en de casus voor nadere overheidsinterventie.

5.1 Mogelijke knelpunten

Beleidsmatige knelpunten zijn obstakels waar bedrijven tegenaan lopen bij de verdere ontwikkeling van producten. Om na te gaan welke knelpunten spelen, hebben we met de sectorpartijen gesproken en getoetst of een aantal knelpunten waar ze mogelijk tegenaan lopen voor hen inderdaad de bedrijfsontwikkeling in de weg staan. Deze mogelijke knelpunt komen voort uit een inventarisatie van punten die momenteel breder spelen. Overigens kan ook het omgekeerde gelden, namelijk dat de ontwikkeling van de sector bijdraagt aan het verminderen van een knelpunt. Tabel 5.1 vat potentiële bedrijfsmatige knelpunten voor de *solar mobility* sector samen.

Tabel 5.1 Potentiële knelpunten voor de ontwikkeling van solar mobility

Type	Mogelijk Knelpunt
Bedrijfsmatige knelpunten	<p>Tekorten aan personeel en vaardigheden mogelijke rem op scale-up in de toekomst</p> <p>Tekorten en afhankelijkheden van grondstoffen en halffabricaten mogelijk een knelpunt in de toekomst</p> <p>Financiering van het MKB, innovatie, start- en scale-ups, en verduurzaming</p> <p>Opschaling naar (grootschalige) productie kent nog (technologische) uitdagingen</p>
Bijdrage aan oplossing voor knelpunt	<p>Uitdagingen in het energiesysteem en (laadpaal)infrastructuur</p>

Bron: SEO Economisch Onderzoek op basis van bureauonderzoek en interviews met experts, beleidsmakers en marktpartijen

Personeelstekorten en *skills mismatch*

De Nederlandse arbeidsmarkt is historisch krap, en zeker ook (zo niet juist) voor technisch personeel. Dit kan ook een rol spelen in de *solar mobility* sector. Van aanpalende sectoren zoals de energiesector of de batterijen is in elk geval bekend dat er sprake is van een hoge vacaturegraad (respectievelijk 55 en 60 vacatures per 1.000 medewerkers). Een deel van de krapte op de technische arbeidsmarkt is conjunctureel, een deel betreft vervangingsvraag door mobiliteit en uittreding, maar een deel van de verklaring waarom de krapte aanhoudend is, is een mismatch in vraag en aanbod van arbeid in termen van vaardigheden. Deze mismatch verschilt naar opleidingsniveau, maar bekend is dat op MBO-niveau de aansluiting tussen onderwijs en bedrijfsleven minder goed is dan voor hbo- of wo-geschoold personeel (e.g. R&D-personeel).

De interviewpartners uit de *solar mobility* sector benoemen dat het vinden van goed personeel ook een uitdaging vormt. Wel lijken personeelstekorten en *skills mismatch* in de *solar mobility* sector niet tot de grootste knelpunten te behoren. Dit kan te maken hebben met het feit dat de sector nog kleinschalig en relatief nieuw is, waardoor de concurrentie om gekwalificeerd personeel nog niet zo hevig is als in andere sectoren. Ook speelt een positieve rol dat deze bedrijven een oplossing zoeken voor het maatschappelijk belangrijke probleem van CO₂-uitstoot, wat ze een aantrekkelijke werkgever maakt. Daarnaast kan het zijn dat de bedrijven die zijn geïnterviewd, zich vooral richten op onderzoeks- en ontwikkelingswerk, waarvoor andere vaardigheden en expertise vereist zijn dan bijvoorbeeld bij productie- en installatiewerkzaamheden. Het feit dat deze bedrijven vooralsnog maar beperkt last hebben van de krapte op de arbeidsmarkt, hangt dan mede op hun huidige activiteiten (R&D i.p.v. productie) en beperkte schaal (kleine ondernemingen). Naarmate bedrijven opschalen naar productie en daarmee in omvang groeien, zal de ervaren krapte op de arbeidsmarkt naar verwachting toenemen.

Tekorten en afhankelijkheden aan grondstoffen en halffabricaten

Sinds de coronacrisis kampen verschillende sectoren met de gevolgen van verstoorde toeleveringsketens van grondstoffen en halffabricaten (Centraal Planbureau 2021). Hiernaast is er bij bedrijven en de overheid in toenemende mate aandacht voor eventuele structurele tekorten in grondstoffen en halffabricaten die nodig zijn voor de verduurzaming van de economie (o.a. *rare earth mineral*). Verder bestaat het risico op (geopolitiek ongewenste strategische) afhankelijkheden van bepaalde toeleveranciers. Deze aandacht strekt ook tot aan de *solar mobility* verwante bedrijfstakken, zoals de batterijensector.

Over grondstoffen stellen de interviewpartners dat silicium voor zonnepanelen in beginsel niet bijzonder zeldzaam is. Bij halffabricaten staan interviewpartners maar beperkt stil, wat lijkt te suggereren dat hier vooralsnog geen knelpunten worden ervaren. De geïnterviewde bedrijven wijzen er juist op dat momenteel veel zonnepanelen uit China afkomstig zijn en dat hun inzet voor productie in Nederland bijdraagt aan zowel verminderde geopolitieke afhankelijkheid als aan een duurzamer productieproces. De mate waarin de sector, en dan vooral de bedrijven die innovatieve zonnepanelen produceren, bijdraagt aan vermindering van dit knelpunt hangt samen met de mate waarin de sector in de toekomst de productie weet op te schalen.

Financiering

Een deel van de bedrijven in de *solar mobility* sector zijn vooralsnog kleine, innovatieve bedrijven met een groen product. Het bedrijfswezen wijst sinds jaar en dag op de financieringsuitdagingen die zulke innovatieve bedrijven hebben. Het is echter wel de vraag of de recente financieringsproblemen van de Nederlandse en Duitse zonneautofabrikanten Lightyear en Sono Motors hier een voorbeeld van zijn. Beide fabrikanten hebben immers in eerste instantie wel voldoende financiers gevonden om tot een concept te komen. Dit past ook bij het beeld dat de afgelopen jaren veel financiering van durfkapitalisten beschikbaar was voor vooral ook startende ondernemingen op het gebied van hernieuwbare energie. Nu een volgende stap aanbreekt, speelt niet alleen een

financieringsvraag, maar ook de kwestie of het deze bedrijven lukt om door te dringen tot de moeilijke markt van nieuwe autofabrikanten.

Ook van bedrijven die de start- of scale-upfase zitten is bekend dat ze geconfronteerd kunnen worden met financieringsvraagstukken. Groei gaat immers gepaard met kosten die moeten worden gefinancierd voordat het eindproduct op grote schaal wordt verkocht. Uit gesprekken blijkt inderdaad dat financiering een uitdaging is voor enkele scale-ups. Zo wijst een gesprekspartner erop dat de import van halffabricaten uit bijvoorbeeld China door de producent veelal voorgefinancierd moeten worden. Daarnaast wijzen gesprekspartners erop dat hun innovatieve activiteiten kunnen plaatsvinden dankzij een bijdrage vanuit de overheid, bijvoorbeeld als medefinancier van een pilot.

Uitdagingen in het energiesysteem en de laadinfrastructuur

De elektrificatie van de economie, inclusief mobiliteit, is een grote transitieopgave. Deze opgave kent knelpunten, waaronder de beschikbaarheid van grondstoffen, toegang tot en capaciteit van het elektriciteitsnetwerk, de opwekking van groene energie en de opslag van energie. Specifiek voor de wegmobiliteit geldt dat de adoptie van elektrisch rijden haar eigen knelpunten kent, zoals in potentie een tekort aan oplaadstations, inconsistente oplaadnormen en een gebrek aan snellaadstations voor langeafstandsreizen.

In interviews herkennen gesprekspartners de uitdagingen die horen bij de elektrificatie van de economie en specifiek het belang van voldoende laadpalen voor elektrisch vervoer. Tegen deze achtergrond wijzen gesprekspartners op de rol die de mobiliteitssector kan spelen in het verhelpen van sommige uitdagingen, bijvoorbeeld doordat auto's met een zonnedak minder afhankelijk zijn van de aanwezigheid van laadpalen en het energiesysteem ontlasten. Daarnaast kunnen elektrische auto's voor huishoudens óók een middel zijn om energie op te slaan en kunnen binnenvaartschepen uitgerust met zonnepanelen óók energie opwekken voor 'de markt' wanneer ze aan de kade liggen. In Nederland gelden deze voordelen echter vooral in de zomermaanden en dient vanwege de beperkte opwekking in de winter, sowieso een goed netwerk van laadpalen aanwezig te zijn. Momenteel loopt Nederland voorop, momenteel zijn er voldoende laadpalen voor de ontwikkeling van elektrisch vervoer. Om te voorkomen dat dit in de toekomst wel een knelpunt wordt dient de ontwikkeling van een goed laad- en elektriciteitsnetwerk wel gelijke tred te houden. Dit staat duidelijk op het vizier van beleidsmakers, onder de noemer Nationale Agenda Laadinfrastructuur.

Opschaling naar (grootschalige) productie kent nog uitdagingen

Een andere uitdaging betreft de stap van ontwikkeld product naar productie op grotere schaal. Hierbij gaat het om het maken van een technische stap, waarbij grootschalige productie via schaalvoordelen leidt tot kostenbesparingen. Dit speelt bij bedrijven in zowel de automotive sector als bij producenten van zonnepanelen. Gesprekspartners merken hierover op dat er geen grote obstakels zijn voor de doorontwikkeling van zonnepanelen voor mobiliteit naar grote schaal. Wel is nog fine-tuning nodig van technieken, zodat panelen beter buigzaam zijn en beter stootvast.

Daarnaast vertellen gesprekspartners dat autoproducenten er belang bij hebben om zonnepanelen in eerste instantie als premium optie aan te bieden, zodat ze op kleinere schaal onderworpen worden aan een praktijktest. Dit zorgt voor kennisontwikkeling en voorkomt een grootschalige terugroepactie. Als blijkt dat het product voldoet in de praktijk is uitrol naar grootschalige productie een volgende stap.

Daarnaast geldt dat potentiële kopers mogelijk afwachtend zijn, omdat een nieuwe technologie wel een forse investering vraagt, maar zich nog niet langjarig heeft bewezen. De eerste kopers nemen daarmee een groter risico

dan de kopers die nog even afwachten. Hierbij speelt mee dat de kosten van een succesvolle nieuwe technologie naar verwachting zullen dalen. Dit *first mover* nadeel kan ertoe leiden dat de implementatie van een *an sich* waardevolle technologie traag verloopt. Dit lijkt wel enigszins te spelen in de scheepsbouw. Tegelijkertijd is het de vraag in hoeverre dit een probleem is. Als een nieuwe technologie inderdaad de belofte inlost en zorgt voor een efficiënte productie van elektriciteit, dan kan achteraf worden vastgesteld dat snellere introductie beter was geweest. Maar dit geldt niet als de technologie kampt met tegenvallers. Dan is een geleidelijke introductie efficiënter aangezien dan de kinderziektes kunnen worden verholpen voordat het product grootschalig in de markt wordt gezet.

Beleidsmatige knelpunten

De Nederlandse overheid ondersteunt bedrijven op punten waar marktfalen speelt en voert beleid gericht op verduurzaming van de economie. In essentie heeft de overheid hierbij twee beleidsinstrumenten ter beschikking, namelijk prijsprikkels en regulering. Voorbeelden van beleid dat relevant is voor de *solar mobility* sector zijn de fiscale voordelen op elektrische auto's en op zonnepanelen of de WBSO die innovatie fiscaal stimuleert. Daarnaast bestaat Europees beleid gericht op de autosector. Zo dienen autoproducenten de CO₂-uitstoot van auto's te reduceren. Ook voor vrachtauto's en bussen zijn CO₂-reductie-eisen in voorbereiding.

Tegen deze achtergrond zijn beleidsmatige knelpunten te zien als obstakels die aan de groei van de sector in de weg staan, in absolute zin of in vergelijking met andere sectoren. Hierbij kan het bijvoorbeeld gaan om beperkte toegang tot reguleringen, waardoor een overheidsdoelstelling (wegnemen marktfalen of CO₂-reductie) wel of niet op de meest efficiënte wijze wordt gerealiseerd. Tabel 5.2 vat mogelijke beleidsmatige knelpunten samen

Tabel 5.2 Mogelijke beleidsmatige knelpunten samen.

Type	Mogelijk knelpunt
Beleidsmatige knelpunten	<ul style="list-style-type: none"> Barrières voor toegang tot verwante subsidieregelingen Geen duidelijke richtlijnen over veiligheid / standaarden voor zonnepanelen op auto's. Onvoldoende aandacht beleidsmakers voor bijdrage die de sector kan leveren aan CO₂-reductie en ontlasten energienetwerk.

Bron: Analyse SEO op basis van gesprekken met partijen in de sector.

Barrières voor toegang tot verwante subsidieregelingen

De Nederlandse overheid stimuleert de aankoop van zonnepanelen met verschillende instrumenten, zoals een btw-vrijstelling voor particulieren of de ISDE voor zakelijke gebruikers, met als doel de CO₂-uitstoot te reduceren.

Gesprekspartners wijzen er echter op dat de aankoopstimuli die gelden voor zonnepanelen op daken niet van toepassing zijn voor het plaatsen van zonnepanelen op een schip, truck of auto. Tegelijkertijd bestaan ook geen specifieke subsidies die deze lacune opvangen. Zo is de Subsidieregeling Verduurzaming Binnenvaartschepen (SRVB), die gericht is op onder meer de CO₂-reductie bij schepen, niet van toepassing op de integratie van zonnepanelen bij binnenvaartschepen. Deze geldt namelijk alleen voor motoren en katalysatoren. Ook zonnepanelen en batterijen geïntegreerd in trailers worden niet gezien als onderdeel van het energienetwerk en komen daarmee niet in aanmerking voor financiering/subsidie (in tegenstelling tot de 'stationaire' energievoorziening). Daarnaast geldt geen btw-vrijstelling of -verlaging op zonnepanelen geïntegreerd in voertuigen (in tegenstelling tot op daken).

Wel profiteert *solar mobility* van generieke regelingen en faciliteiten

De aanschaf van *solar mobility* valt in sommige gevallen wel binnen meer generieke regelingen. Zo geldt voor de aanschaf van zonnepanelen op een schip of vrachtwagen dat bijvoorbeeld de Energie Investeringsaftrek (EIA) gebruikt kan worden. Binnen het business-to-business segment bestaat daarmee een meer generieke regeling ter stimulering van verduurzaming. Gesprekspartners kennen deze regelingen en wijzen hun klanten erop dat ze hier gebruik van kunnen maken.

Binnen het consumentensegment bestaan ook fiscale voordelen waar *solar mobility* onder kan vallen. Dit geldt bijvoorbeeld wanneer een zonnedak op een hybride auto ervoor zorgt dat de CO₂-uitstoot zodanig daalt dat de wegenbelasting binnen het halftarief komt te vallen. De aanschafpremie voor een elektrische auto is echter niet te zien als subsidie voor *solar mobility*. Het betreft immers een vast bedrag dat geldt voor auto's met een elektrische motor en is daarmee niet afhankelijk van het wel of niet hebben van een zonnedak.

Voor innovatiesubsidies geldt eveneens dat ze generiek zijn en dus ook beschikbaar zijn voor het speur- en ontwikkelingswerk door de *solar mobility* sector. Uit gesprekken met de sector blijkt inderdaad dat ze gebruikmaken van onder meer de WBSO. Het positieve externe effect dat in potentie gepaard gaat met innovaties wordt hiermee dus (gedeeltelijk) toegerekend aan de ontwikkelaar.

Daarnaast wijzen gesprekspartners ook op het belang van publiek-private samenwerking, met bijvoorbeeld TNO, voor het doen van innovaties. Zo'n onderzoeksinstituut heeft bijvoorbeeld testfaciliteiten waar bedrijven uit de *solar mobility* sector gebruik van maken. Voor individuele bedrijven is het namelijk niet goed haalbaar om zelf zulke faciliteiten op te zetten, zeker niet voor kleine bedrijven.

Geen duidelijkheid over technische standaarden

Voor de verdere ontwikkeling van *solar mobility* helpt het als er meer duidelijkheid komt over technische vereisten op het terrein van veiligheid en duurzaamheid. Het is logisch dat er momenteel nog geen duidelijke standaarden zijn voor de veiligheidseisen aan zonnepanelen op de deuren of de motorkap van een auto, aangezien de sector nog in de kinderschoenen staat. Zulke panelen kennen een ander gevaar van de metalen of kunststoffen die hier nu voor worden gebruikt, zoals versplintering van glas of een elektrische schok. Over zulke aspecten dient op een gegeven moment duidelijkheid te komen, zodat ontwikkelaars weten wanneer een product voldoet aan de eisen. Logischerwijs gebeurt dit door op EU-niveau standaarden te formuleren.

Daarnaast wezen gesprekspartners erop dat een nieuwe generatie zonnepanelen op basis van perovskite waarschijnlijk meer lood zal bevatten dan momenteel in de EU is toegestaan, terwijl ze wel aan de eisen in de VS en Japan voldoen. Daarmee werd deze regulering als belemmerend gezien voor de toepassing van zulke panelen in de EU.

Onvoldoende beleidsmatige aandacht voor de *solar mobility* sector

Uit de gesprekken met bedrijven in de *solar mobility* sector blijkt dat ze de weg naar beleidsmakers goed weten te vinden en daar regelmatig op ondersteuning van hun innovatieve activiteiten kunnen rekenen. Zo is binnen de Topsector energie een aantal projecten gerealiseerd. Daarnaast heeft de sector het initiatief genomen om een brancheorganisatie op te richten (ASOM) en zo beter vertegenwoordigd te zijn in het beleidsveld. De sector heeft echter geen eigenstandige plek in het Missiegedreven Topsectoren en Innovatiebeleid, waardoor het hierbinnen niet specifiek op de radar staat. De Kennis- en Innovatieagenda (KIA) Energietransitie en Duurzaamheid kent een sectortafel mobiliteit waar *solar mobility* onder zou kunnen vallen.

5.2 Een ruimere rol voor de overheid?

De sector signaleert een aantal bedrijfsmatige en beleidsmatige knelpunten. Welke rol ligt er voor beleid om deze knelpunten te verhelpen? Belangrijke context bij deze vraag is het feit dat er reeds een breed palet aan beleidsmaatregelen bestaat waar de sector haar voordeel mee kan doen en doet.

Tabel 5.3 Bestaande stimuleringsmaatregelen van de overheid waar *solar mobility* gebruik van kan maken

Type instrument	Beschrijving	Mogelijk en feitelijk gebruik (waar bekend) door de <i>solar mobility</i> sector
Subsidies voor verduurzaming mobiliteit	De overheid biedt verschillend subsidies voor de aankoop van duurzame vervoersmiddelen, zoals de SEPP, de SEBA, en de SpUk-ZEbus.	De solar mobility sector maakt gebruik van deze regelingen (aankoopkant). Dit gebeurt als elektrisch vervoermiddel een zonnedak krijgt, dan vallen ze vanzelf onder de subsidie. De SRVB kan niet worden gebruikt voor het plaatsen van zonnepanelen.
Fiscale maatregelen voor verduurzaming mobiliteit	Tot en met 2024 is er geen wegenbelasting en bpm verschuldigd over volledig elektrische auto's. Ook de bijtelling is lager. Ook geldt een lager tarief (halftarief) voor auto's met een lagere CO2-uitstoot	Elektrische auto's met zonnedaken vallen onder de subsidieregeling, maar brandstofauto's met zonnedaken niet. Behalve als de zonnedaken ervoor zorgen dat hybride auto's de grens van halftarief bereiken.
Fiscale maatregelen voor verduurzaming	Ondernemers die investeren in verduurzaming kunnen aanspraak maken op de Energie-investeringsaftrek (EIA), waarmee ze 45,5 procent van de investering kunnen aftrekken van hun winst. Verder kan gebruikgemaakt worden van de MIA en de Vamil.	Marktpartijen in de solar mobility sector maken gebruik van beschikbare regelingen zoals de Energie-investeringsaftrek (EIA) en de Vamil.
Innovatiesubsidies	De overheid biedt verschillende instrumenten waaronder de WBSO, MIT, en Innovatiekrediet.	Toegankelijk voor de solar mobility sector, en de sector maakt er gebruik van.
Fiscale maatregelen voor innovatie en investeringen	Winst op innovatieve activiteiten worden onder een lager tarief belast in de Innovatiebox. Met de KIA kunnen (kleine) ondernemers (kleine) investeringen fiscaal gunstig doen.	Toegankelijk voor de solar mobility sector en de sector maakt er gebruik van.
Subsidies voor (de financiering van) ondernemerschap en/of start- en scale-ups	De overheid biedt een palet aan instrumenten, waaronder de VFF, SEED Capital, GO, Groeifaciliteit, etc.	Toegankelijk voor de solar mobility sector en de sector maakt er gebruik van.
Topsectorenbeleid	De Topsector Energie ziet ook op mobiliteit.	Binnen de Topsector Energie zijn er een aantal projecten over solar mobility gerealiseerd.
Publiek-private financiering via ROMs, InvestNL, Groeifonds en de EU	De overheid faciliteert een reeks aan investeringsmogelijkheden, waaronder InvestNL en het Groeifonds.	InvestNL heeft in 2022 25 miljoen euro in Lightyear geïnvesteerd.
Publieke financiering van kennisinstellingen	De overheid financiert universiteiten en organisaties zoals TNO.	TNO en universiteiten voeren actief onderzoek uit naar <i>solar mobility</i> .

Bron: SEO Economisch Onderzoek op basis van bureauonderzoek en interviews met experts, beleidsmakers en marktpartijen

Tabel 5.3 biedt een schets van het bestaande beleid. Dit beleid is bijvoorbeeld gericht op het realiseren van transitie naar verduurzaming (e.g. subsidies of fiscale maatregelen voor het verduurzamen van mobiliteit), het verhelpen van marktfalen rondom innovatie en (startend of groeiend) ondernemerschap (subsidies, fiscale instrumenten en samenwerking via o.a. de Topsectoren) en de financiering van het (innovatieve) bedrijfsleven. Bekend is dat partijen in de *solar mobility* sector gebruikmaken van deze instrumenten. Vraag is daarom vooral welk aanvullend beleid mogelijk en nodig zou zijn.

Bedrijfsmatige knelpunten

Beleid kan helpen bedrijfsmatige noden te lenigen, maar de vraag is in welke mate aanvullend beleid vereist is. De ruimte hiervoor lijkt beperkt. Veel van de ervaren bedrijfsmatige knelpunten zijn generiek in aard: veel technische sectoren ervaren tekorten aan personeel met de juiste vaardigheden, uitdagingen in het verwerven van halffabricaten of het financieren van innovatie. Zulke generieke knelpunten worden ook sinds jaar en dag door de overheid erkend, die hier dan ook beleid tegenover zet. Niet onbelangrijk is dan ook dat de sector al gebruikmaakt van dit beleid of er indirect begunstigde van is (e.g. beleid dat probeert te zorgen voor voldoende technisch geschoold personeel). *First best* is ook dat zulke generieke knelpunten bij hun bron aangepakt worden, zonder dat de overheid daarin een voorkeursbeleid voert (*picking winners* is lastig). Dat laat weinig scope voor specifieke maatregelen voor de *solar mobility* sector om bedrijfsmatige knelpunten te verhelpen.

Beleidsmatige knelpunten

Beleidsmatig wijst het onderzoek op twee groepen knelpunten, namelijk barrières voor het gebruik van bestaande regelingen in verwante sectoren en wet- en regelgeving die nog niet voorziet in de vermarkting van solar mobility. Daarnaast kan de vraag worden gesteld of het wenselijk is om de additionele CO₂-reductie waar de sector voor zorgt extra te waarderen. Het is dus de vraag op deze punten additioneel overheidsbeleid wenselijk is.

Barrières voor toegang tot verwante subsidieregelingen

De mate waarin barrières voor het gebruik van bestaande regelingen geslecht moeten worden verschilt naar gelang het doel van de regeling. Dat de *solar mobility* sector geen gebruik kan maken van regelingen gericht op de 'stationaire' energievoorziening (e.g. zonnepanelen op woningdaken), kan ook een bewuste beleidskeuze zijn (en valt soms ook voor rekening van verschillende ministeries). Dat de 'fit' van de *solar mobility* sector in sommige bestaande subsidieregelingen niet optimaal of concurrerend met andere aanvragen zou zijn, kan het gevolg zijn van bewuste prioritering binnen een gegeven regeling (e.g. vooral subsidiering van de meest kostenefficiënte projecten in termen van vermeden uitstoot), maar kan ook voortkomen uit een blinde vlek in het beleid. Indien dit laatste het geval is, ligt in de rede om te overwegen de regeling breder open te stellen.

Daarbij geldt dat *solar mobility* voor een verdere verlaging van het (elektrische) verbruik van auto's, vrachtwagens en binnenvaartschepen zorgt, doordat via geïntegreerde (groene) opwekking minder (al dan niet groene) stroom aan het net onttrokken wordt. Deze additionele besparing van energieverbruik en uitstoot (meer groen) kan een subsidie rechtvaardigen. Hier staat wel tegenover dat hierdoor de complexiteit van het instrument kan toenemen.

Hieronder bespreken we kort wat dit per modaliteit kan betekenen.

5.2.2 Personenauto's

Voor personenauto's met een zonnedak bestaan geen specifieke subsidies. Wel draagt een zonnedak bij aan reductie van de CO₂-uitstoot en kan dit eraan bijdragen dat een hybride auto in het halftarief regime terechtkomt. Daarnaast geldt een aanschafsubsidie op elektrische auto's voor particulieren (SEPP), die eenvoudig is vormgegeven. Deze maakt geen onderscheid in de mate waarin elektrische auto's de CO₂-uitstoot beperken. Een

variant die hier wel rekening mee houdt heeft waarschijnlijk een groter effect, maar dit maakt de regeling wel complexer. Hiertussen speelt een afweging.

5.2.3 Vrachtauto's

Bedrijven die zonnepanelen plaatsen op een vrachtauto kunnen gebruikmaken van de EIA. Daarmee bestaat een subsidie die verduurzaming van vrachtauto's stimuleert. Wel is het zo dat voor vrachtauto's geen gebruikgemaakt kan worden van specifieke subsidies die wel gelden voor de gebouwde omgeving, zoals voor de aanschaf van panelen. Overwogen kan worden om dit gelijk te trekken, door bedrijven ook toegang te geven tot deze regelingen wanneer zij zonnepanelen aanschaffen voor op een vrachtwagen.

5.2.4 Schepen

Voor schepen geldt hetzelfde als voor vrachtauto's, namelijk dat gebruikgemaakt kan worden van een aantal generieke verduurzamingsinstrumenten, maar niet van specifieke subsidies voor zonnepanelen. En dus zou ook hier overwogen kunnen worden deze regelingen open te stellen. Daarnaast kan overwogen worden of de SRVB ook opengesteld dient te worden voor zonnepanelen. Deze is immers bedoeld voor de verduurzaming van schepen, maar momenteel alleen van toepassing op verduurzaming van motoren of de aanschaf van katalysatoren.

5.2.5 Regelgeving voor solar mobility

Het bijpunten van bestaande wet- en regelgeving om vermarkting van *solar mobility* mogelijk te maken, kan belemmeringen voor toekomstige adoptie wegnemen, maar vereist wel een eigen kosten-batenafweging. Gesprekspartners noemen een aantal voorbeelden. Hoog efficiënte zonnecellen (perovskite solar cells) bevatten een hoeveelheid lood die momenteel onder de Europese regulering voor auto's niet is toegestaan (te groot deel van het gewicht van de zonnecel), maar in Japan en de VS wel (waar ze meten in termen van hoeveelheid lood per voertuig). Dat is voor marktpartijen een belemmering (lood is nodig voor de productie / werking van veel componenten, waaronder zonnepanelen), zeker voor Europese producenten die onder een strikter kader vallen. Aanpassing van wet- en regelgeving kan lonen, maar vereist een eigen kosten-batenanalyse (lood blijft immers schadelijk).

Een ander voorbeeld betreft de normering van bijvoorbeeld veiligheid bij botsingen en crashes. De thans geldende normen voorzien nog niet in bijvoorbeeld een motorkap met zonnepanelen. Dan is onduidelijk voor producenten wat commercieel kan en mag vanuit veiligheidsperspectief, maar het nemen van besluiten daarover vereist een eigen zorgvuldig proces. In beide gevallen zou dit tot aanvullend beleid op Europees niveau moeten leiden.

Referenties

Arief, I.S., Fathalah, AZM. (2022), 'Review Of Alternative Energy Resource For The Future Ship Power'. 6th International Conference on Marine Technology (SENTA 2021), IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 972 (2022) 012073, doi:10.1088/1755-1315/972/1/012073.

Newman, B., A. Carr, A. Binani, T. Burgers (2021), Market Opportunities for VIPV in Northern Europe, TNO R11374.

CBS (2023), Pompprijzen motobrandstoffen: <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/84991NED>

CBS (2023), Dashboard: hoeveel rijden personenauto's: <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/verkeer-en-vervoer/verkeer/verkeersprestaties-personenautos>

CBS (2023), Emissies naar lucht: <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/85347NED?q=uitstoot%20binnenvaart>

CPB (2021), Macro Economische Verkenning 2022, CPB-analyse.

Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (2023), 'Summary: Vehicle-Integrated Photovoltaics Request for Information'. <https://www.energy.gov/eere/solar/summary-vehicle-integrated-photovoltaics-request-information>.

M. Ghasri, A. Ardeshiri, N.J. Ekins-Daukes, T. Rashidi (2020), 'Willingness to Pay for Electric Vehicles with Photovoltaic Solar Cells', Transportation Research Part C, under review.

Glykas, A., Papaioannou, G., Perissakis, S. (2010), 'Application and cost-benefit analysis of solar hybrid power installation on merchant marine vessels', Ocean Engineering, Volume 37, Issue 7, Pages 592-602, ISSN 0029-8018, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2010.01.019>.

Heinrich, M., Kutter, C., Basler, F., Mittag, M., Alanis, L.E., Eberlein, D., Schmid, A., Reise, C., Kroyer, T., Neuhaus, D.H., Wirth, H. (2020), 'Potential and challenges of vehicle integrated photovoltaics for passenger cars'. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems.7

Huang, M., He, W., Incecik, A., Cichon, A., Królczyk, G., Li, C. (2021), 'Renewable energy storage and sustainable design of hybrid energy powered ships: A case study', Journal of Energy Storage, Volume 43, 103266, ISSN 2352-152X, <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103266>.

IEA, State-of-the-Art and Expected Benefits of PV-Powered Vehicles, Report IEA-PVPS T17-01:2021, April 2021

ING, 2019, Tijdperk van zero-emissie breekt aan voor trucks, Economisch Bureau.

International Renewable Energy Agency, (2017), 'Renewable power: Sharply falling generation costs'. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Nov/%20IRENA_Sharply_falling_costs_2017.pdf

Karatuğ, C., Durmuşoğlu, Y., (2020), 'Design of a solar photovoltaic system for a Ro-Ro ship and estimation of performance analysis: A case study', *Solar Energy*, Volume 207, Pages 1259-1268, ISSN 0038-092X, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.037>.

Klimaatakkoord (2019), <https://www.klimaatakkoord.nl/documenten/publicaties/2019/06/28/klimaatakkoord>

Komoto, K. (2020), 'Vehicle Integrated PV: State-of-the-Art and Expected Benefit'. Technology Cooperation Programme International Energy Agency and Mizuho Research & Technologies, Ltd., Japan. <https://iea-pvps.org/key-topics/state-of-the-art-and-expected-benefits-of-pv-powered-vehicles/>.

Mallon, K. R., F. Assadian & B. Fu (2017), Analysis of On-Board Photovoltaics for a Battery Electric Bus and Their Impact on Battery Lifespan, University of California, conference paper.

MIT Technology Review (2013), 'The Future of Solar and Wind Powered Shipping'. <https://www.technologyreview.com/2013/06/28/15767/the-future-of-solar-and-wind-powered-shipping/>.

Nederlandse Emissie Autoriteit, (2022) 'Marktmechanisme en HBE's'. <https://www.emissieautoriteit.nl/onderwerpen/algemeen-hernieuwbare-energie-voor-vervoer/marktmechanisme>

Pan, P., Sun, Y., Yuan, C., Yan, X., Tang, X. (2021), 'Research progress on ship power systems integrated with new energy sources: A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 144, 111048, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111048>.

Salem, A., Seddiek, I.S., (2016), 'Techno-Economic Approach to Solar Energy Systems Onboard Marine Vehicles'. Volume & Issue: Volume 23 (2016) - Issue 3 (September 2016), Page range: 64 - 71
DOI: <https://doi.org/10.1515/pomr-2016-0033>.

Sierra Rodriguez, A, de Santana, T, MacGill, I, Ekins-Daukes, NJ, Reinders, A. (2020), 'A feasibility study of solar PV-powered electric cars using an interdisciplinary modeling approach for the electricity balance, CO2 emissions, and economic aspects: The cases of The Netherlands, Norway, Brazil, and Australia', *Progress in Photovoltaics*, Wiley.

Sinke, W., Folkerts, W., Weeber, A. (2021), 'Zonpositief - Zonne-energie op weg naar impact'. TNO. <http://resolver.tudelft.nl/uuid:a06ca423-1501-4758-b6bc-94107673f451>.

Solar Power Europe (2019), 'Putting solar in the driver's seat'. <https://www.irishellas.com/files/SolarPower-Europe-Solar-in-the-driving-seat-Solar-Mobility-report.pdf>.

Wang, H., Oguz, E., Jeong, B., Zhou, P., (2019). 'Life cycle and economic assessment of a solar panel array applied to a short route ferry'. *J. Clean. Prod.* 219, 471-484. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.124>.

Yamaguchi, M., Masuda, T., Araki, K., Sato, D., Lee, K., Kojima, N., Takamoto, T., Okumura, K., Satou, A., Yamada, K., Nakado, T., Zushi, Y., Yamazaki, M. and Yamada, H. (2020), 'Role of PV-Powered Vehicles in Low-Carbon Society and Some Approaches of High-Efficiency Solar Cell Modules for Cars'. *Energy and Power Engineering*, 12, 375-395. doi: 10.4236/epe.2020.126023.

Bijlage A Geïnterviewde experts

Naam	Organisatie
Prof. P. Bauer	TU Delft
R. Derks	IM-efficiency
M. Hamm	Compoform
Prof. O. Issabella	TU Delft
Dr. S.S. Kinge	Toyota
Prof. G.L.A, de Leede	Solarge
B. Newman	Lightyear / ASOM
R. Quax	TKI UE
Prof. A.H.M.E Reinders	TU Eindhoven / Solliance
B. Salet	WattLab
J.W. Sangers	TNO
S.G. Stan	VDL

Bijlage B Kenschets Nederlandse spelers

De onderstaande lijst biedt een samenvatting van de activiteiten en groei van enkele bedrijven. Deze samenvattingen zijn gebaseerd op openbare bronnen.

Lichtjaar

Lightyear is een bedrijf dat zich richt op de productie van zonneauto's. De financiële gezondheid van het bedrijf is onzeker, waardoor mogelijke groei en ontwikkelingen van het bedrijf moeilijk zijn in te schatten. Het bedrijf is in 2016 opgericht met het doel om een zelfvoorzienende, betaalbare gezinsauto te ontwikkelen. Het bedrijf heeft een prototype, de Lightyear One, ontwikkeld, waarvan ze circa 150 exemplaren zouden produceren. Hoge kosten bij het bedrijf leidden in januari 2023 tot de aankondiging van een faillissement. In februari is gebleken dat er een mogelijke doorstart komt, waardoor het bedrijf zich verder kan richten op de ontwikkeling van de Lightyear 2. Het bedrijf geeft aan dat het huidige ontwerp van de Lightyear 2 ongeveer 5 m² aan zonnepanelen bevat. Hiermee laadt de auto zich automatisch voor ongeveer 70 km aan bereik op per dag, volgens Lightyear. Het verbruik van de auto is 110 wh per kilometer, waardoor het een bereik heeft van zo'n 625 km op een volle accu. De belangstelling voor de Lightyear 2 is groot. Zo zijn er grote bestellingen geplaatst (10.000 auto's) door onder andere leasebedrijven. Ten tijde van het onderzoek bestond het bedrijf uit circa 500 werknemers.

Squad Mobility

Squad Mobility is een klein bedrijf (2-10 werknemers) dat micro-auto's ontwikkelt die op zonne-energie rijden. Volgens het bedrijf kan de auto zich dankzij ingebouwde zonnepanelen dagelijks voor 20 km aan bereik opladen, en is het maximumbereik ongeveer 100 km. Het voertuig is bedoeld voor korte afstanden binnen steden. Het bedrijf verwacht in 2024 van start te kunnen gaan met de productie van de voertuigen.

WattLab

WattLab heeft het concept van een scheepsluik met geïntegreerd zonnepaneel ontwikkeld, samen met een grote luikenbouwer, het Belgische Blommaert.

Blommaert Alu

Blommaert heeft momenteel 50-200 werknemers en richt zich grotendeels op de productie van scheepsluiken voor binnenschepen. Ofschoon het bedrijf oorspronkelijk in België is opgericht, is er sinds 2003 tevens een vestiging in Nederland, eerst in Werkendam, gevolgd door Rotterdam. Het bedrijf heeft in samenwerking met WattLab ultradunne geïntegreerde zonnecellen ontwikkeld in 2021. Sindsdien is het bedrijf actief in de productie/installatie van zonnepanelen voor schepen. De zonnepanelen zijn bedoeld om het verbruik van generatoren te verminderen, en om scheepvaarders minder afhankelijk te maken van walstroom. Hiermee kunnen scheepvaarders brandstof besparen. De elektriciteit benutten de schippers momenteel nog niet voor voortstuwing. Tot dusver zijn er zes realisaties bekend van projecten waarin zonnepanelen zijn geïnstalleerd op schepen. Deze hebben alle plaatsgevonden tussen april 2022 en december 2022. Het verwachte resultaat van dit nieuwe product is dat er op termijn 20 schepen per jaar gebruik gaan maken van het solar-luikstelsel. Een tweede gepland resultaat van het product is om 12,5 procent van het energiegebruik van een gemiddeld schip op te kunnen wekken via de zonnepanelen. Het RVO schat dat elk zonnepaneel-luikensysteem de CO₂-uitstoot gemiddeld met 100.000 kg kan verminderen.

IM Efficiency

Dit bedrijf levert zonnepanelen, batterijen en energiemanagementsystemen voor trailers van vrachtwagens.

Solarge

Solarge heeft een concept ontwikkeld van lichtgewicht en flexibele zonnepanelen. Daarbij zorgt het bedrijf ervoor dat deze op een duurzame wijze zijn ontwikkeld. Solarge richt zich vooral op lichtgewicht panelen voor lichte daken van industriegebouwen en stallen, maar levert ook aan bouwers van trailers voor vrachtwagens.

Compoform

Compoform is de producent van de composietplaten waar zonnecellen opgezet kunnen worden, zodat geïntegreerde platen ontstaan die onder meer op vrachtauto's geplaatst kunnen worden.

Brainport Development

Brainport Development is een non-profit organisatie bestaande uit 50-200 werknemers, die verschillende organisaties bijeenbrengt met als doel om innovatie en groei in de regio rondom Eindhoven te bevorderen. De organisatie is een van de initiatiefnemers voor *De Brainportlijn*. Dit is een emissieloos OV-systeem, deels aangedreven door zonne-energie, dat regionale werklocaties en Brainportcampussen met elkaar moet gaan verbinden. De ontwikkeling van deze lijn is nog niet veel verder gekomen dan een initiatief-fase. Zo is de initiële bijdrage uit het Groeifonds ter waarde van circa 1 miljard euro afgewezen en heeft de regio 30 miljoen euro ontvangen voor de ontwikkeling van de lijn. Uit maatschappelijke kosten-batenanalyses uitgevoerd door SEO en CPB blijkt dat het project mogelijk onrendabel is, waardoor de toekomstige doorontwikkeling onzeker is.⁹

Mito Solar

Mito Solar is een kleine startup (2-10 werknemers), die zich bezighoudt met het ontwikkelen van *high-end* zonnepanelen en zonne-energiemodules. Via het gebruik van speciale materialen en coatings geeft het bedrijf aan de opbrengsten van de zonne-energiemodules te verdubbelen vergeleken met standaardpanelen. Dit brengt echter ook dusdanig hoge kosten met zich mee, dat het voor gebruikelijke applicaties te kostbaar is. Het bedrijf geeft aan zich te richten op de ontwikkeling van modules voor voertuigen uiteenlopend van boten tot vliegtuigen. Het is niet bekend hoe ver het bedrijf verwijderd is van de productie van zonne-energiemodules en hoeveel realisaties er tot dusver zijn geweest.

Solar Team Eindhoven

Solar Team Eindhoven is een startup die bestaat uit 16 studenten van de Technische Universiteit Eindhoven. Het team heeft een campervan ontwikkeld die zelfvoorzienend op zonne-energie rijdt. Dit voertuig is in staat om twee passagiers te vervoeren, heeft een bereik van circa 600 km en een topsnelheid van 120 km/h. Het voertuig maakt gebruik van zonnepanelen die zich uitvouwen. Opgevouwen beslaan ze 8.8 m² en uitgevouwen neemt dit toe tot 17.5 m². Ofschoon het team een prototype heeft gebouwd en getest, is het niet bekend in hoeverre er ambities zijn om het tot een marktproduct door te ontwikkelen. Het team geeft namelijk aan dat het de bestaande markten wil *inspireren*.

⁹ Zie hiervoor de artikelen te vinden op <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-b0b56822-84c7-48af-9457-5ce904658603/pdf> en op <https://www.cpb.nl/sites/default/files/omnidownload/CPB-Analyse-voorstel-C-NGF-Brainportlijn-Eindhoven.pdf>

TRENS Solar Trains

TRENS Solar Trains houdt zich bezig met de productie van elektrische treinen, waarmee het bedrijf de uitstoot veroorzaakt door stadslogistiek wil verlagen. Dit voertuig is in staat om 100 km af te leggen op één acculading. Door middel van geïntegreerde zonnepanelen groeit de actieradius met 8 km per uur aan volle zon. TRENS Solar Trains heeft tot dusver twee treinen geleverd aan klanten, in 's-Hertogenbosch en in Vlissingen. Het is een klein bedrijf, bestaande uit 2-10 werknemers.

Energyra

Energyra produceert onder andere monokrystallijne lichtgewicht zonnepanelen, die vrij zijn van PFAS, fluor en lood en daarnaast gedeeltelijk met materiaal van Europese leveranciers zijn samengesteld. De panelen hebben een relatief hoog rendement in vroegere of latere uren van de dag. Door de goede prestatie in een schuine ligging worden de panelen nu ook op de zijkant van een schip ingezet. Energyra bestaat uit ongeveer 18 werknemers.



“De wetenschap dat het goed is.”

SEO Economisch Onderzoek doet onafhankelijk toegepast onderzoek in opdracht van overheid en bedrijfsleven. Ons onderzoek helpt onze opdrachtgevers bij het nemen van beslissingen. SEO Economisch Onderzoek is gelieerd aan de Universiteit van Amsterdam. Dat geeft ons zicht op de nieuwste wetenschappelijke methoden. We hebben geen winstoogmerk en investeren continu in het intellectueel kapitaal van de medewerkers via promotietrajecten, het uitbrengen van wetenschappelijke publicaties, kennisnetwerken en congresbezoek.

SEO-rapport 2023-47

ISBN 978-90-5220-280-8

Informatie & Disclaimer

SEO Economisch Onderzoek heeft op de verkregen informatie en data geen onderzoek uitgevoerd dat het karakter draagt van een accountantscontrole of due diligence. SEO is niet verantwoordelijk voor fouten of omissies in de verkregen informatie en data.

Copyright © 2023 SEO Amsterdam.

Alle rechten voorbehouden. Het is geoorloofd gegevens uit dit rapport te gebruiken in artikelen, onderzoeken en collegesyllabi, mits daarbij de bron duidelijk en nauwkeurig wordt vermeld. Gegevens uit dit rapport mogen niet voor commerciële doeleinden gebruikt worden zonder voorafgaande toestemming van de auteur(s). Toestemming kan worden verkregen via secretariaat@seo.nl.

Roetersstraat 29
1018 WB Amsterdam

+31 20 399 1255
secretariaat@seo.nl
www.seo.nl