



NAAR EEN MEER CIRCULAIRE ENERGIETRANSITIE MET UITGEBREIDE PRODUCENTENVERANTWOORDELIJKHEID

Analyse van de inzet van UPV voor batterijen in elektrische auto's, zonnepanelen en windmolens

Alexandros Dimitropoulos, Daan in 't Veld en Herman Vollebergh
December 2024

PBL

Colofon

Naar een meer circulaire energietransitie met Uitgebreide Producentenverantwoordelijkheid. Analyse van de inzet van UPV voor batterijen in elektrische auto's, zonnepanelen en windmolens.

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving
Den Haag, 2024
PBL-publicatienummer: 3968

Contact

alexandros.dimitropoulos@pbl.nl, daan.intveld@pbl.nl

Auteurs

Alexandros Dimitropoulos, Daan in 't Veld en Herman Vollebergh

Met dank aan

Remi Elzinga (Universiteit Utrecht), Geertje Grootenhuis, Olav-Jan van Gerwen, Aldert Hanemaaijer en Sonja Kruitwagen (allen PBL). De auteurs zijn dank verschuldigd aan Marc Pruijn, Marc Veenhuizen (beiden Rijkswaterstaat), Maja Valstar (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat), Eline Fleur Spekle (Ministerie van Economische Zaken en Klimaat) en René Eijsbouts (Stichting OPEN) voor informatie die zij hebben aangedragen.

Supervisie

Bert Tieben

Redactie figuren

Beeldredactie PBL

Eindredactie en productie

Uitgeverij PBL

Toegankelijkheid

Het PBL hecht veel waarde aan de toegankelijkheid van zijn producten. Mocht u problemen ervaren bij het lezen ervan, dan kunt u contact opnemen via info@pbl.nl. Vermeld daarbij s.v.p. de naam van de publicatie en het probleem waar u tegenaan loopt.

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Dimitropoulos, A., D. in 't Veld & H. Vollebergh (2024), *Naar een meer circulaire energietransitie met Uitgebreide Producentenverantwoordelijkheid. Analyse van de inzet van UPV voor batterijen in elektrische auto's, zonnepanelen en windmolens*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is vóór alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

Inhoud

Samenvatting	4	
1	Introductie	7
2	Uitgebreide producenten-verantwoordelijkheid (UPV)	9
2.1	Circulaire economie en UPV	9
2.2	Wat is UPV en hoe werkt het?	10
3	Energietransitie, circulaire economie en UPV	15
3.1	Snelgroeiende vraag naar energietransitieproducten	15
3.2	Batterijen in elektrische auto's	16
3.3	Zonnepanelen	20
3.4	Windmolens	23
4	Sleutels voor verbetering	27
4.1	Pas UPV op meer producten toe	27
4.2	Houd beter rekening met afwijkende productkenmerken	29
4.3	Stimuleer levensduurverlenging door slimmer UPV-ontwerp	29
4.4	Bevorder hoogwaardiger recycling en terugwinning kritieke grondstoffen	31
4.5	Zorg voor gelijk speelveld en faciliteer handhaving	32
	Literatuur	35

Samenvatting

Vanwege de snelle groei van aantallen batterijen in elektrische auto's, zonnepanelen en windmolens, is extra aandacht nodig voor de afdankfase

De energietransitie is noodzakelijk voor het terugdringen van broeikasgassen en voor het halen van klimaatdoelen. Om de overstap van fossiele naar hernieuwbare energie te realiseren zijn allerlei producten nodig, allereerst voor de opwekking van energie, zoals zonnepanelen en windmolens, maar ook ander energiegebruik, zoals elektrische auto's die door batterijen worden aangedreven. De snelle groei van de aantallen van deze producten zorgt voor nieuwe uitdagingen in het beheer van grondstoffen en afval. Ook zorgen de kritieke materialen die hier nodig zijn – zoals lithium, kobalt, mangaan en zeldzame aardmetalen – voor nieuwe afhankelijkheden van het buitenland: de winning en verwerking van deze materialen is geconcentreerd in China en andere landen buiten Europa.

Uitgebreide producentenverantwoordelijkheid (UPV) kan helpen die uitdagingen het hoofd te bieden ...

Om de afvalberg en de milieu-impact daarvan terug te dringen en in beter verwerkbaar stromen op te splitsen heeft de overheid in het verleden 'uitgebreide producentenverantwoordelijkheid' (UPV) in het leven geroepen voor specifieke productgroepen. Met UPV worden producenten en importeurs verantwoordelijk gemaakt voor de inzameling en verwerking van producten nadat deze zijn afgedankt. Producten moeten bijvoorbeeld apart worden ingezameld waardoor zij of hun onderdelen een tweede leven kunnen krijgen, en de materialen die hiermee gemoeid zijn beter kunnen worden teruggewonnen. Grondstoffen gaan dan langer mee en er hoeven minder nieuwe grondstoffen te worden gewonnen. UPV is dus bij uitstek een beleidsaanpak die zou kunnen helpen om grondstoffen en materialen een langer leven te laten leiden.

... maar stuit bij sleutelproducten voor de energietransitie op een aantal specifieke problemen

Batterijen in elektrische auto's, zonnepanelen en windmolens hebben allemaal zo hun bijzondere kenmerken die verwerking in de afdankfase bemoeilijken. Zo kennen ze alle drie een lange levensduur waardoor ze niet gemakkelijk in bestaande UPV-systemen onder te brengen zijn. Ook stuit hergebruik, bijvoorbeeld via de tweedehandsmarkt, soms op specifieke risico's. Zo brengt hergebruik van batterijen in batterijopslagsystemen veiligheidsrisico's met zich mee. Verder is terugwinning van kritieke en andere materialen vaak niet rendabel omdat er goedkopere opties tot 'downcycling' bestaan. En, tot slot, stuiten regelingen vaak letterlijk op grenzen, bijvoorbeeld omdat deze producten de grens over gaan naar andere landen, binnen en buiten de EU, waar de afdankfase nogal eens minder goed is geregeld.

Hoe kan UPV beter worden ingezet om deze problemen in de afdankfase van batterijen in elektrische auto's, zonnepanelen en windmolens het hoofd te bieden?

Voor deze policybrief heeft het PBL onderzocht hoe UPV beter kan worden benut voor de specifieke problemen die samenhangen met deze productgroepen. Zo is er onlangs wel een door de EU Verordening voor de verwerking van afgedankte batterijen (waaronder batterijen in elektrische auto's) ingevoerd, terwijl er voor de afdankfase van windmolens UPV-beleid ontbreekt. Van belang is ook dat UPV niet binnen alle EU-lidstaten op vergelijkbare wijze wordt toegepast, terwijl voor producten die naar buiten de EU worden geëxporteerd meestal helemaal niets is geregeld.

Bij onze analyse kijken we met name ook naar mogelijkheden om de leveringsrisico's en de milieudruk van het materiaalgebruik in deze producten te verminderen:

1. Pas UPV toe op meer producten en bevorder de implementatie van effectieve UPV-systemen in landen binnen en buiten de EU

Voor EV-batterijen en zonnepanelen bestaan al UPV-systemen in Nederland, maar voor windmolens niet. Het verdient daarom aanbeveling ook UPV-beleid voor windmolens uit te werken, met name om de recycling van de composietmaterialen in de bladen te bevorderen. Verder zijn UPV-systemen binnen de EU vaak van verschillende kwaliteit, en bestaan deze buiten de EU meestal helemaal niet. Daarom kan de Nederlandse overheid bijdragen aan het (verder) ontwikkelen van UPV-systemen in andere landen, zowel binnen de EU als daarbuiten. Daarbij kan ook worden gedacht aan bijdragen die worden gefinancierd door UPV-systemen en betaald aan andere landen buiten de EU voor de terugwinning van kritieke materialen.

2. Houd bij bestaande en nieuwe UPV-systemen beter rekening met specifieke kenmerken van energietransitieproducten

Vereisten binnen de UPV-systemen, zoals voor de aparte inzameling van afgedankte producten, zijn nu niet altijd goed afgestemd op de kenmerken van energietransitieproducten. Zo is de levensduur van zonnepanelen veel langer dan die van de meeste andere producten in het UPV-systeem waaronder deze panelen nu vallen. Voor zonnepanelen kan dan beter een aparte inzamelingsvereiste worden toegepast die hiermee beter rekening houdt. Dit voorbeeld illustreert ook het belang van aanpassingen van UPV-systemen aan veranderingen in de productsamenstelling als gevolg van technologische vooruitgang.

3. Pas UPV-vereisten aan om energietransitieproducten langer te gebruiken

Nu wordt de (technische) levensduur van de nieuwe producten niet altijd ten volle benut omdat deze snel worden afgeschreven of er belemmeringen zijn voor de tweedehandsmarkt. Inzamelingsvereisten werken dit zelfs tegen als ze geen rekening houden met hergebruik, bijvoorbeeld omdat er geen betrouwbare manier is om producten op de tweedehandsmarkt te monitoren. Ook zou veel meer gebruik kunnen worden gemaakt van speciale fondsen gericht op hergebruik en reparatie, gefinancierd door producenten. Momenteel is er ook gebrek aan inzicht in het hergebruik, de tweedehandsmarkt en de export van zonnepanelen en windmolens. Nieuwe instrumenten aan de productiekant, zoals het binnenkort verplichte digitale productpaspoort voor batterijen, kunnen helpen bij het monitoren van het hergebruik en de export van deze producten.

4. Bevorder hoogwaardigere recycling en terugwinning van kritieke grondstoffen door terugwinningvereisten en aanvullende vereisten ten aanzien van recycklaat in nieuwe producten

Momenteel gaan veel waardevolle kritieke materialen verloren door laagwaardige toepassingen na de afdankfase, de zogenaamde 'downcycling'. Meer aandacht voor terugwinning en hoogwaardige recycling binnen de ketens van EV-batterijen, zonnepanelen en windmolens is daarom nodig. In de nieuwe Europese Batterijenverordening zijn al eisen gesteld aan de terugwinning van kobalt, koper, lood, lithium en nikkel vanaf 2027. Voor zonnepanelen en windmolens kunnen ook UPV-vereisten voor kritieke materialen worden gesteld. Verder stelt de Batterijenverordening ook hoeveel recycklaat er minimaal moet worden gebruikt in nieuwe batterijen. Zo'n eis stimuleert de vraag naar gerecyclede materialen van producenten en zou ook kunnen worden overwogen voor zonnepanelen en windmolens.

5. Zorg voor een gelijk speelveld en faciliteer handhaving

Door de lange levensduur van de energietransitieproducten bestaat er een risico dat een producent uit de markt verdwijnt voordat zijn producten zijn afgedankt. Om ervoor te zorgen dat elke producent vooraf voldoende middelen reserveert voor de inzameling en verwerking van al

zijn afgedankte producten, zijn goede wettelijke regelingen essentieel, zoals Algemeen verbindende verklaringen (AVV's). Deze maken de afvalbeheerbijdrage bindend voor alle producenten in een productgroep en bevorderen een gelijk speelveld tussen producenten. Voor batterijen in elektrische auto's is het ook van belang dat er een einde komt aan het niet-gecertificeerde verwijderen en transformeren hiervan. Dit voorkomt ondermijning van de UPV en zorgt voor een veiliger verwerking. Bij zonneparken en windparken is eenduidigheid nodig over wie in UPV-verband de producent is: nu is dat soms een energiebedrijf, soms een gemeente en soms een andere eigenaar. Tot slot is van belang dat de wettelijke verantwoordelijkheid van producenten onder UPV momenteel stopt bij de grens van Nederland. Een gelijk speelveld hangt niet alleen af van homogenisering binnen Nederland, maar ook van afstemming in wetgeving met landen binnen de EU. Daarom zou het ook nuttig zijn om onderzoek te doen naar de mogelijkheden die een EU-breed UPV-systeem voor de onderzochte energietransitieproducten biedt.

1 Introductie

Veel landen streven naar klimaatneutraliteit

Net als veel andere landen streeft Nederland naar een reductie van de broeikasgasuitstoot met 55 procent in 2030 en naar nul in 2050. Dit past binnen de door de EU beoogde klimaatneutraliteit in 2050, om te kunnen voldoen aan de akkoorden van Parijs. Voor die transitie is hernieuwbare energieopwekking door windmolens en zonnecellen essentieel, evenals het kunnen opslaan van die energie in bijvoorbeeld batterijen in elektrische auto's.

Het streven naar klimaatneutraliteit gaat gepaard met nieuwe milieu- en leveringsrisico's

Een energiesysteem waarin de fossiele brandstoffen worden vervangen door hernieuwbare energie zorgt voor een heel ander pallet aan producten die zorgen voor de opwekking, de opslag en het gebruik daarvan. Deze nieuwe producten zorgen ook voor nieuwe uitdagingen in het grondstoffen- en afvalbeheer. De grondstoffen bijvoorbeeld die hier nodig zijn – zoals hoogzuiver silicium, mangaan, lithium, kobalt en zeldzame aardmetalen – zijn nu nog zelden binnen de EU beschikbaar. Bovendien verhoogt de winning en verwerking hiervan lokaal de milieudruk en wordt een land als Nederland afhankelijk van een paar landen, zoals China. Ook is het risico op nieuwe milieudruk in de afdankfase aanzienlijk. Vandaar dat Nederland niet alleen de ambitie heeft om klimaatneutraal te worden, maar ook een duidelijk beleidsdoel heeft om het grondstoffengebruik en materiaalleveringsrisico's sterk terug te dringen.

Uitgebreide producentenverantwoordelijkheid (UPV) kan bijdragen aan de vermindering van het grondstoffengebruik en materiaalintensiteit

Een belangrijk middel om goed om te gaan met de afdankfase van producten is 'uitgebreide producentenverantwoordelijkheid' (UPV). UPV zorgt ervoor dat producenten, importeurs of andere partijen (in UPV-wetgeving allen 'producenten' genoemd) die een product op de markt brengen verantwoordelijk worden voor de afdankfase van de door hen op de markt gebrachte producten. Deze verantwoordelijkheid wordt geoperationaliseerd door producenten verplichte doelstellingen op te leggen voor die fase, bijvoorbeeld door een inzamelingspercentage vast te stellen van eerder op de markt gebrachte producten. Deze verantwoordelijkheid is vaak niet alleen financieel maar ook organisatorisch. Hoe producenten precies aan deze verplichtingen voldoen, is aan hen. UPV draagt daardoor bij aan een betere beheersbaarheid van afvalstromen door het tegengaan van het mengen van afval en voor meer recycling (Dimitropoulos et al. 2021).

Huidige UPV schiet nog tekort bij technologieën en producten die cruciaal zijn voor de energietransitie

Voor batterijen in elektrische auto's en voor zonnepanelen bestaan er weliswaar al UPV-systemen, maar deze zijn niet altijd geschikt voor de specifieke kenmerken van deze producten. En voor windmolens is er nog helemaal geen UPV. Deze drie productgroepen hebben een lange levensduur en gaan in principe al gauw 15 tot 25 jaar mee. Dit specifieke kenmerk in combinatie met de kritieke materialen die hierin verwerkt zijn vereisen een UPV-ontwerp dat beter gericht is op de lange termijn en de terugwinning van (kritieke) materialen.

Hoe kan UPV beter bijdragen aan een meer circulair grondstoffen- en materiaalverbruik van energietransitieproducten?

Dat onderzoeken we in deze policybrief. Eerst bespreken we de werking van UPV en schetsen we enkele tekortkomingen van de huidige inrichting van het UPV-beleid (Hoofdstuk 2). In Hoofdstuk 3 gaan we in op de ontwikkelingen rond de drie sleutelproducten die bijdragen aan de transitie naar klimaatneutraliteit: batterijen in elektrische auto's, zonnepanelen en windturbines ('energietransitieproducten'). We signaleren daarbij een aantal problemen die vragen om een oplossing. In Hoofdstuk 4 bespreken we een aantal opties die tezamen kunnen bijdragen aan een betere werking van UPV in de circulaire energietransitie.

2 Uitgebreide producentenverantwoordelijkheid (UPV)

In dit hoofdstuk gaan we in op de doelen en de werking van uitgebreide producentenverantwoordelijkheid (UPV). Allereerst leggen we uit welke rol UPV speelt in het beleid gericht op een circulaire economie (sectie 2.1). Daarna bespreken we kort de werking van UPV (sectie 2.2).

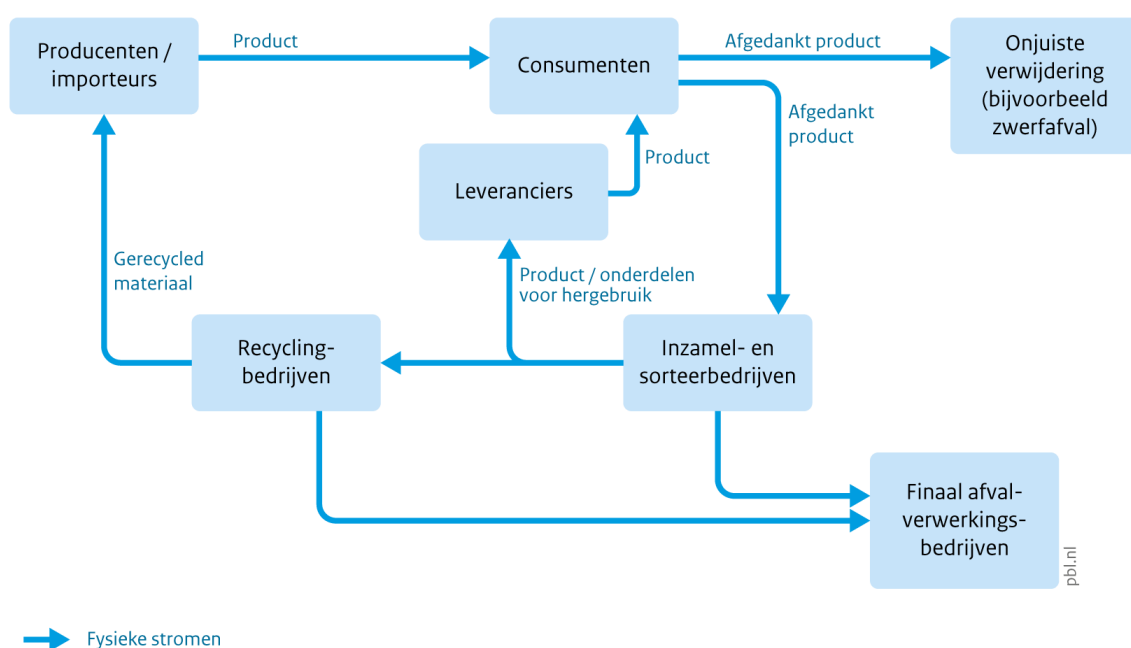
2.1 Circulaire economie en UPV

Producten verdwijnen niet na gebruik, maar doorlopen een uitgebreid afvalcircuit

In Figuur 1 is te zien wat er gebeurt met eenmaal geproduceerde producten, nadat ze door consumenten (huishoudens en bedrijven) zijn afgedankt. Wanneer deze producten (of hun onderdelen) niet langer bruikbaar zijn, en niet gerecycled kunnen worden, eindigen ze in principe bij afvalverbrandingsbedrijven, of soms zelfs op stortplaatsen in het buitenland. Wanneer producten of onderdelen daarvan afgedankt worden maar wel bruikbaar zijn, kunnen deze aan consumenten (huishoudens of bedrijven) worden verkocht voor hergebruik. Ten slotte kunnen gerecycleerde materialen van afgedankte producten hun weg terug naar de producent vinden. Deze gerecycleerde materialen concurreren met nieuw gedolven grondstoffen. Batterijen in elektrische auto's, zonnepanelen en windmolens zijn producten met een lange levensduur, waardoor één verwerkingscyclus gemakkelijk 15 tot 25 jaar kan beslaan.

Figuur 1

Product- en materiaalstromen in een economie



Bron: PBL

Een circulaire economie is gericht op radicaal minder en efficiënter gebruik van grondstoffen

Een circulaire economie is een productie- en consumptiesysteem waarin bestaande materialen en producten zo lang mogelijk worden gedeeld, verhuurd, hergebruikt, hersteld, opgeknapt en gerecycled. Door in te zetten op meer circulair gebruik van grondstoffen, materialen en producten, kunnen negatieve klimaat- en milieueffecten worden verminderd – zoals klimaatverandering, milieuvervuiling en biodiversiteitsverlies – net als leveringsrisico's (Hanemaaijer et al. 2023). Ook draagt een meer circulaire economie bij aan langer en beter gebruik van kritieke grondstoffen, zoals zeldzame aardmetalen.

Verskillende circulariteitsstrategieën om een circulaire economie te bereiken

Er worden grofweg vier manieren onderscheiden, de circulariteitsstrategieën genoemd (Hanemaaijer et al. 2023). Het gaat hierbij om:

- 'narrowing the loop', oftewel minder grondstoffen gebruiken door van producten af te zien, producten te delen of ze efficiënter te fabriceren;
- 'slowing the loop' oftewel het langer en intensiever gebruiken van producten en onderdelen door middel van hergebruik en reparatie;
- 'closing the loop': het sluiten van de kringloop door het verminderen van lekstromen en van schadelijke stoffen, en door recycling van materialen; en
- 'substitutie': oftewel het vervangen van eindige grondstoffen door duurzaam geproduceerde hernieuwbare grondstoffen.

UPV is een beleidsaanpak waarmee deze circulariteitsstrategieën kunnen worden ondersteund

Uitgebreide producentenverantwoordelijkheid is een beleidsaanpak die past bij een streven naar een circulaire economie, doordat de nadruk ligt op wat er gebeurt met producten na gebruik. UPV is oorspronkelijk gericht op het verminderen en beter beheersbaar maken van de afvalberg die vrijkomt na consumptie. Het zorgt ervoor dat niet de overheid, maar producenten verantwoordelijk zijn voor de fase nadat producten worden afgedankt. In de praktijk bestaat UPV uit een reeks vereisten (verplichte doelstellingen) voor producenten, waardoor zij de financiële-, of financiële en organisatorische verantwoordelijkheid dragen voor het beheer van de post-consumentfase van hun producten. Dit gaat met name om hun aparte inzameling en verwerking (Richtlijn EU 2018/851 van het Europees Parlement en de Raad van 30 mei 2018).

2.2 Wat is UPV en hoe werkt het?

UPV speelt een belangrijke rol in het Europese en Nederlandse CE-beleid

UPV bestaat sinds de jaren '90 en is een belangrijk onderdeel van het CE-beleid geworden, zeker in de Europese Unie (zie ook OECD 2024). Binnen de Europese regelgeving worden de doelen van UPV in de Kaderrichtlijn Afvalstoffen (Europees Parlement & Raad van de Europese Unie 2008) omschreven als "stimulering van hergebruik en de preventie, recycling en andere nuttige toepassing van afvalstoffen" (artikel 8, lid 1). Hierbij wordt aangemerkt dat preventie volgens de afvalhiërarchie de hoogste prioriteit heeft, gevolgd door hergebruik, recycling, en andere nuttige toepassing. Onder 'nuttige toepassing' anders dan recycling valt onder meer het verbranden van afval voor energieopwekking (Europees Parlement & Raad van de Europese Unie 2008: Bijlage II).

In de Nederlandse implementatie van deze richtlijn worden dezelfde vier elementen genoemd als doel van milieuregels zoals UPV (Wet milieubeheer, artikel 9.5.2, lid 1), maar ook "een doelmatig beheer van afvalstoffen of anderszins in het belang van de bescherming van het milieu". Voor

expliciet aangewezen producten geldt de verplichting om geheel of gedeeltelijk de financiële- of financiële en organisatorische verantwoordelijkheid voor de inname en het beheer van het afval te dragen. UPV geldt voor producenten, importeurs of andere partijen (in UPV-wetgeving allen 'producenten' genoemd) die een product op de markt brengen. In Nederland is het belangrijkste wettelijke mechanisme voor UPV het Besluit Regeling voor Uitgebreide Producentenverantwoordelijkheid 2020. Dit besluit sluit aan bij de UPV-richtlijnen zoals uiteengezet in de Wet milieubeheer. Het handhaaft de minimale operationele vereisten voor UPV-systemen, zoals gedefinieerd in de wijziging van de Europese Kaderrichtlijn Afvalstoffen uit 2018 (Europees Parlement & Raad van de Europese Unie 2018).

Momenteel wordt UPV op een breed scala aan producten toegepast

In de gehele Europese Unie zijn UPV-systemen geïmplementeerd voor auto's en bedrijfswagens tot 3.500 kilo, batterijen, elektrische en elektronische apparatuur, en verpakkingen. In Nederland geldt er ook UPV voor autobanden, en sinds 2023 voor textiel en kunststofproducten voor eenmalig gebruik. Daarnaast zijn er Algemeen verbindende verklaringen (AVV's) voor sommige producten. Bij een AVV sluiten bedrijven onderling een overeenkomst over het afdragen van een afvalbeheerbijdrage. De Rijksoverheid verklaart die overeenkomst algemeen verbindend, ook voor andere actieve bedrijven en voor toetreders. Papier en karton, vlakglas en consumentenmatrassen zijn de drie productgroepen waarvoor alleen een AVV bestaat en waarbij geen andere UPV-wetgeving van toepassing is. Volgens de *Regeling verzoek algemeen verbindend verklaring overeenkomst afvalbeheerbijdrage* moeten de systemen die met een AVV worden opgezet echter ook voldoen aan de minimumvereisten voor regelingen voor UPV.

In UPV-systemen krijgen producenten vanuit de overheid verplichte doelstellingen opgelegd voor inzameling, recycling en terugwinning

In Figuur 2 is te zien op welke plekken in de productie-, afval- en materialenketen het UPV-beleid aangrijpt en hoe. De figuur illustreert de verschillende vereisten en geldstromen die in dit kader relevant zijn. De meest gebruikte vorm van aansturing van UPV in Nederland, maar ook breder in Europa, zijn inzamelingsdoelstellingen of -vereisten. Ook recyclingdoelstellingen komen voor, en sinds kort ook terugwinningdoelstellingen. Een inzamelingsdoelstelling stelt een minimum aan producten dat ingezameld dient te worden, uitgedrukt in gewicht als percentage van de *op de markt gebrachte* producten in een bepaald aantal jaren eerder. Een recyclingdoelstelling stelt ook een dergelijk minimum, maar dan voor recycling ten opzichte van de *ingezamelde* producten. Een terugwinningdoelstelling stelt een minimum aan het gewicht dat bij recycling teruggewonnen wordt. Gewoonlijk is dit als percentage van het gewicht van een *bepaald materiaal*, bijvoorbeeld lithium, dat in de ingezamelde producten aanwezig is.

Eisen aan de hoeveelheid recycleat in producten zijn complementair aan UPV-vereisten

In de beleidsdiscussie in Nederland en Europa komen ook recycleatvereisten aan bod. In dat geval wordt opgelegd dat een product voor een bepaald minimum percentage bestaat uit gerecycled materiaal. Een voorbeeld is de PET-fles, die vanaf 2025 voor ten minste 25 procent uit gerecycled PET moet bestaan volgens de Europese richtlijn voor *Single Use Plastics* (SUP). Recycleatvereisten vallen weliswaar niet direct onder UPV, aangezien ze betrekking hebben op de productiefase, maar werken complementair aan UPV door de vraag naar gerecycled materiaal te verhogen.

Bedrijven kiezen er in de meeste UPV-systemen voor om collectief aan de eisen te voldoen

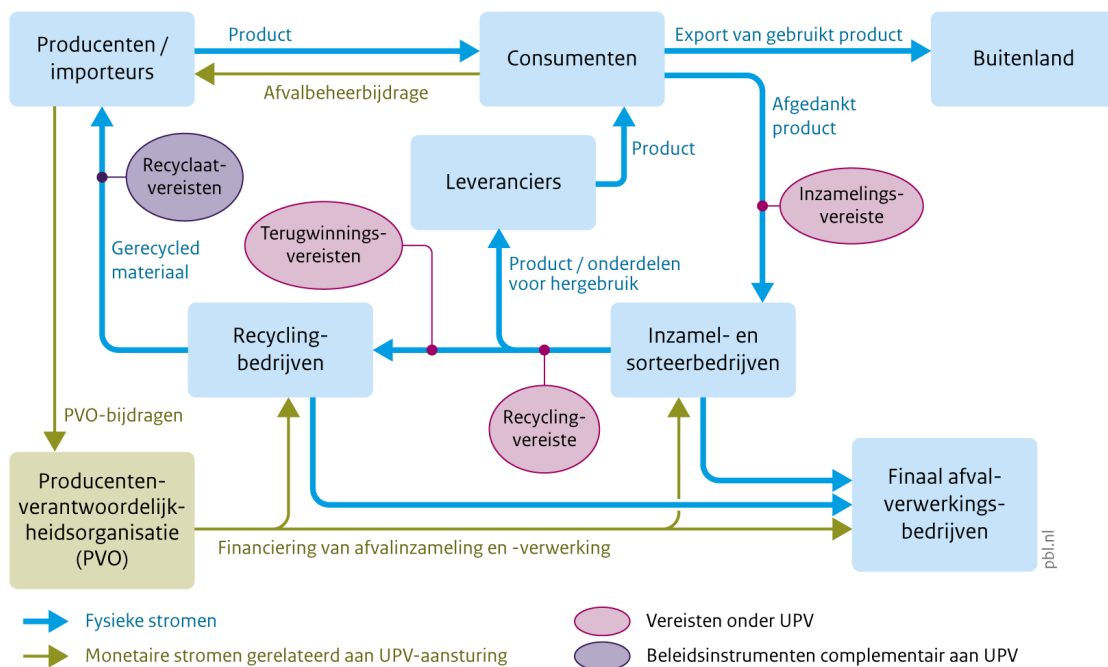
Het wettelijk kader voor UPV verplicht bedrijven of importeurs tot afzonderlijk afvalbeheer voor de door hen op de markt gebrachte producten. Tegelijk laat het bedrijven vrij om zich individueel dan

wel collectief te organiseren om aan hun verplichtingen te voldoen. In Nederland, maar ook in andere EU-landen, is de norm dat bedrijven in een bepaalde sector ervoor kiezen collectief te voldoen aan hun UPV-verplichtingen. Daar worden dan externe entiteiten voor opgericht, de zogenaamde producentenverantwoordelijkheidsorganisaties (PVO's). Bij sommige UPV-systemen, zoals het systeem voor batterijen van elektrische auto's, besluiten de meeste producenten hun verplichtingen na te komen via een PVO, maar een minderheid van hen vervult deze individueel. In Nederland zijn de afgelopen jaren een aantal PVO's samengegaan, waardoor er in feite marktconcentratie plaatsvindt.

Figuur 2

UPV voor producten die cruciaal zijn voor de energietransitie

UPV = Uitgebreide Producentenverantwoordelijkheid



Bron: PBL

In Nederland is er een beperkt aantal PVO's

Momenteel zijn er een aantal grote PVO's voor wettelijke UPV-systemen, namelijk Verpact (voor verpakkingen), ARN Auto Recycling Nederland (voor auto's, bedrijfsauto's tot 3.500 kilogram en autobatterijen), RecyBEM (voor autobanden), Stichting OPEN (voor elektrische en elektronische apparaten) en Stichting UPV Textiel. Daarnaast bestaan er PVO's voor producten waar alleen een AVV voor ingesteld is, te weten voor karton/papier (Papier Recycling Nederland), vlakglas (Vlakglas Recycling Nederland), en matrassen (Matras Recycling Nederland).

PVO's bieden voordelen voor producenten en beperken handhavingskosten

PVO's bieden producenten voordelen, zoals het kunnen creëren van schaalvoordelen en het terugdringen van meelifgedrag (*freeriding*). Met behulp van PVO's is het mogelijk om als bedrijven gezamenlijk kostenvoordelen te behalen bij het inzamelen en verwerken van de via een UPV gereguleerde producten. Voor de Rijksoverheid heeft dit ook voordelen, als een afspraak van een PVO van toepassing kan worden verklaard op alle bedrijven in een sector door middel van een AVV. Dan kunnen bedrijven zich niet eenvoudig onttrekken aan de verplichting tot afvalbeheer. De ILT hoeft dan niet voor individuele bedrijven te checken of ze zich houden aan de UPV-vereisten.

Financiering van de producentenverantwoordelijkheid loopt via PVO-bijdragen, die vaak aan de consument worden doorberekend

PVO's zorgen dus voor afvalinzameling, -sortering en -verwerking. De kosten hiervan worden verhaald op de producenten (zie lijnen over monetaire stromen in Figuur 2). De meeste actieve PVO's innen hun kosten via een vergoeding, te betalen door de producenten op basis van een specifieke vergoedingsstructuur. Daarbij kan gebruik worden gemaakt van vaste of gedifferentieerde (variabele) vergoedingen. Vaste vergoedingen worden doorgaans gebruikt voor samengestelde goederen, zoals elektronische apparatuur en auto's, die uit meerdere materialen bestaan. Gedifferentieerde vergoedingen worden vooral gebruikt voor producten van één materiaal met een korte levensduur, zoals verpakkingen en grafisch papier. De kosten voor PVO-vergoedingen worden in verschillende UPV-systemen doorgeschoven naar consumenten, al dan niet in de vorm van expliciet afgedragen afvalbeheer- of recyclingbijdragen.

Volgens Europese en Nederlandse wetgeving zijn producenten onder UPV-systemen verplicht bepaalde informatie openbaar beschikbaar te maken

Individuele producenten, of PVO's als collectief, moeten de voortgang rapporteren in het behalen van de UPV-doelstellingen. Daarnaast moeten PVO's verslag uitbrengen over hun eigendom en lidmaatschap, de selectieprocedure voor de door hen gecontracteerde afvalbeheerders, en de vergoedingen die producenten betalen per eenheid of ton product dat op de markt wordt gebracht (Europees Parlement en Raad van de Europese Unie 2018a; Dimitropoulos et al. 2021: 14).

De wettelijke verantwoordelijkheid van producenten stopt bij de grens van de EU of bij de grens van Nederland

Bij producten die in Nederland onder UPV vallen, dragen producenten de verantwoordelijkheid voor de inzameling en verwerking na gebruik in Nederland. Wordt een product geëxporteerd naar een land binnen de EU, dan valt het daarna onder het UPV-systeem van het desbetreffende EU-land. De verantwoordelijkheid stopt echter wanneer gebruikte producten geëxporteerd worden naar buiten de EU. Dit is problematisch, vooral wanneer wet- en regelgeving voor afval in het exportland minder streng is dan in de EU, wat meestal het geval is. De UPV-vereisten onder Nederlandse en Europese wetgeving worden niet overgedragen naar die exportlanden, en geïnde afvalbeheerbijdragen evenmin.

In Nederland is de laatste jaren sprake van schaalvergroting van PVO's...

Opvallend is dat in Nederland sprake is geweest van een sterke integratie van producentenverantwoordelijkheidsorganisaties. De krachtenbundeling levert producenten kostenvoordelen op bij de inzameling en verwerking, en ook de overheid levert het kostenvoordelen op door besparing op monitoring via ILT. Tegelijkertijd betekent een grotere PVO voor een grotere hoeveelheid producten ook een concentratie van marktmacht. Deze consolidatie van PVO's is geen noodzakelijk gevolg van de UPV-wetgeving. Zo is er in Frankrijk een heel ander systeem, waar juist concurrentie tussen meer PVO's voor een bepaalde productgroep wordt aangemoedigd.

... terwijl tegelijkertijd boetes of andere sancties ontbreken in de handhaving

De handhaving van UPV-systemen is in handen van de toezichthouder Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT). Deze heeft veel taken en weinig menskracht. Handhaving van UPV betekent dus niet dat de ILT alle producenten periodiek controleert op hun verantwoordelijkheden. Wel wordt elke producent door Rijkswaterstaat op de rapportageplicht gecontroleerd. De ILT reageert op bepaalde signalen en spreekt waar nodig bedrijven of PVO's aan op hun verantwoordelijkheid. De ILT probeert in principe twee keer per jaar naar een PVO te gaan. De ILT heeft daarbij beperkte

mogelijkheden om boetes of andere sancties op te leggen als doelen niet behaald worden.¹ Als ondersteuning in de handhavingstaak van de ILT is ook een rol weggelegd voor Rijkswaterstaat. Rijkswaterstaat monitort de hoeveelheid producten die zowel PVO's als individuele bedrijven in de handel hebben gebracht, hoeveel afgedankte producten zij hebben ingezameld, en welk deel daarvan is gebruikt om nieuwe producten te maken (zie [de website van Inspectie Leefomgeving en Transport](#) voor meer informatie).

¹ In december 2023 heeft de ILT voor het eerst een voornemen tot last onder dwangsom opgelegd aan de PVO Verpact (zie [de website van Inspectie Leefomgeving en Transport](#) voor meer informatie).

3 Energietransitie, circulaire economie en UPV

In dit hoofdstuk gaan we dieper in op de veranderingen in grondstofgebruik en afval door de inzet van de voor de energietransitie benodigde drie producten. Allereerst leggen we (in sectie 3.1) kort uit wat klimaatneutraliteit betekent voor de afdankfase van verschillende energietransitietechnologieën. Daarbij bespreken we welke grondstoffen in het geding zijn met de nadruk op kritieke materialen. Daarna beschrijven we voor drie snelgroeiende sleutelproducten de marktontwikkelingen en het bestaande beleid voor de afdankfase. De drie producten waar we op ingaan zijn batterijen in elektrische auto's (3.2), zonnepanelen (3.3) en windmolens (3.4).

3.1 Snelgroeiende vraag naar energietransitieproducten

In de overgang naar klimaatneutraliteit is de vraag naar elektrische auto's en hernieuwbare energietechnologieën explosief gestegen

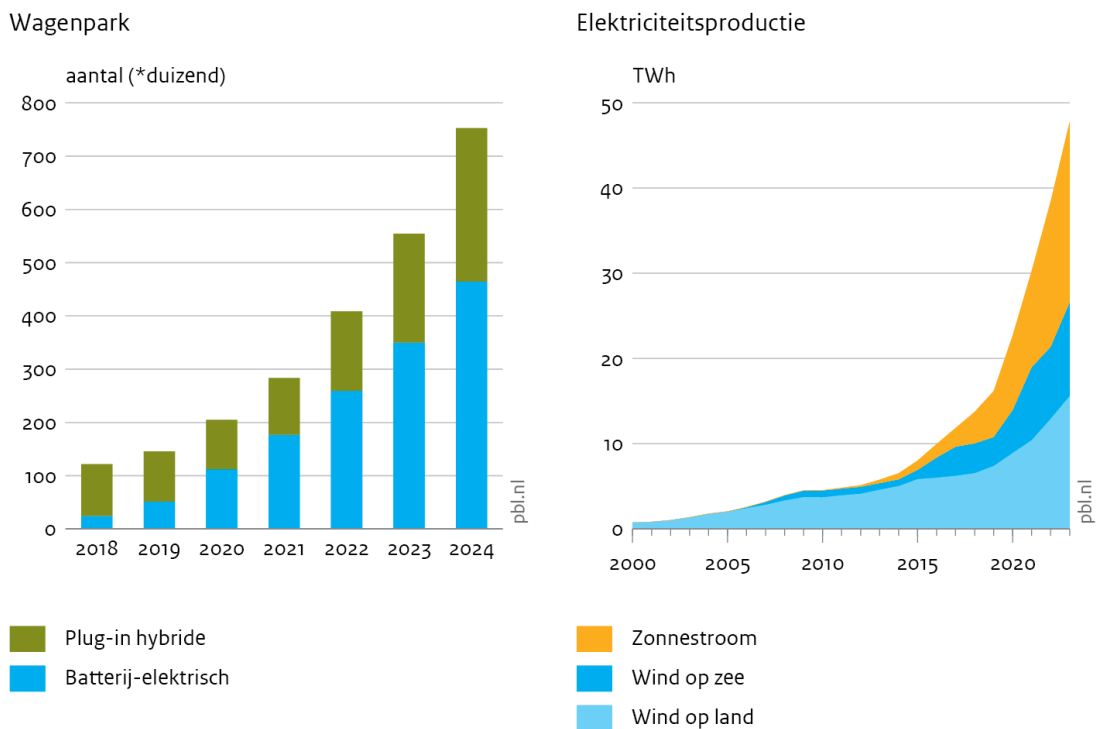
In Figuur 3a wordt het aantal elektrische en plug-in hybride auto's getoond in Nederland. Het aandeel van volledig elektrische auto's was in maart 2024 ruim 5 procent, en met de plug-in hybride auto's erbij ongeveer 8,4 procent van het totale wagenpark. Daarnaast nemen ook de aantallen zonnepanelen en windmolens op land en op zee snel toe, vooral sinds 2015. Figuur 3b schetst de snelle ontwikkeling van wind- en zonne-energieproductie gedurende de laatste jaren. Zon en wind (op zee en op land) genereren anno 2021 iets meer dan 30 terawattuur, ongeveer 5,5 procent van het Nederlandse energieverbruik (CBS, 2023a). In 2022 is dat gestegen naar 7,5 procent.

De verwachting is dat de aantallen elektrische auto's, zonnepanelen en windmolens snel zullen blijven stijgen, wat zal leiden tot een verdere toename in de vraag naar kritieke materialen

De energietransitie die nodig is om de stijging van de gemiddelde temperatuur op aarde in 2050 onder de 2°C te houden zal naar schatting meer dan drie miljard ton metalen en mineralen vereisen (UN Environment Programme & International Resource Panel, 2024). Daarmee leidt de uitfasering van fossiele brandstoffen tot andere milieudruk. Ook betreft een belangrijk deel andere materiaalbehoefte waaronder kritieke materialen die nodig zijn voor batterijen en hernieuwbare energietechnologieën: koper, nikkel, silicium, mangaan, lithium, kobalt, grafiet en zeldzame aardmetalen (Grootenhuis et al. 2024). Deze materialen worden grotendeels gewonnen en verwerkt in landen ver van Europa.

Figuur 3

Aantal volledig elektrische en plug-in hybride auto's in het Nederlandse wagenpark en productie van elektriciteit uit wind- en zonne-energie in Nederland



Bron: RVO (2024), CBS (2024)

* Het aantal volledig elektrische auto's en plug-in hybrides heeft betrekking op de maand maart van het betreffende jaar.

3.2 Batterijen in elektrische auto's

3.2.1 Type product en marktontwikkelingen

De markt voor batterijen in elektrische auto's (EV's) groeit heel snel

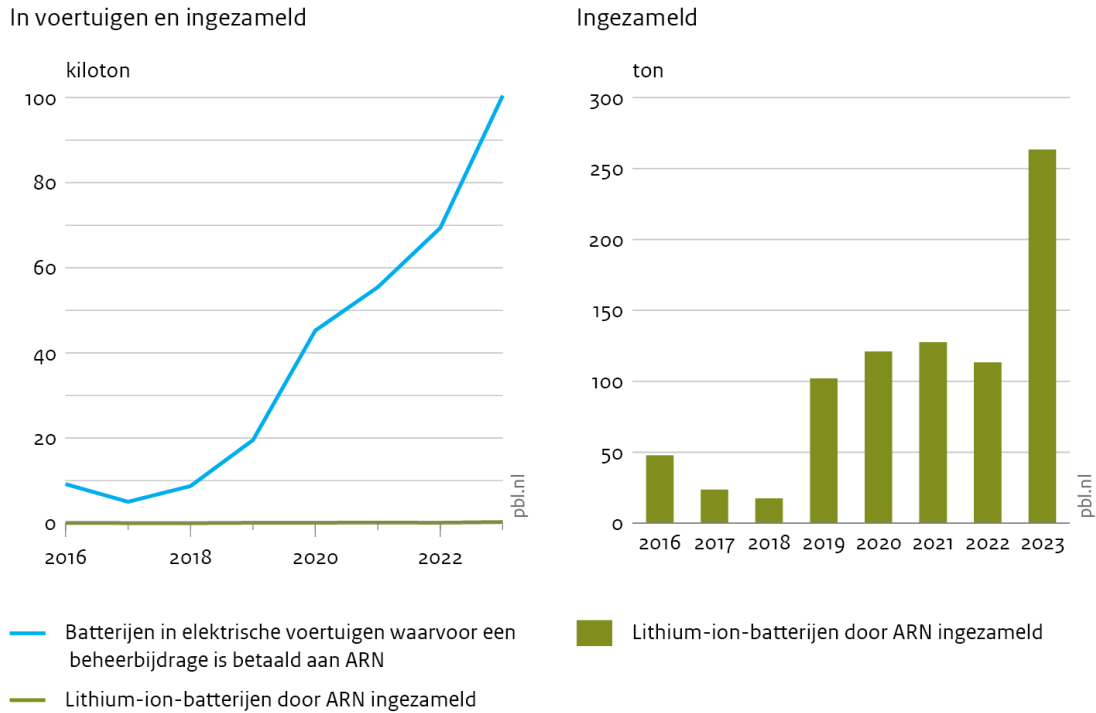
Zoals blijkt uit Figuur 3a is elektrificatie van personenauto's in Nederland al enige tijd aan de gang, maar de laatste tijd is het extra snel gegaan. Het wagenpark van elektrische voertuigen – volledig elektrisch en plug-in hybrides – is sinds begin 2022 verdubbeld en bedroeg in maart 2024 ruim 750 duizend personenauto's (RVO, 2024). Ruim 60 procent van deze voertuigen is volledig elektrisch en beschikt over grote en zware accupakketten waarmee langere afstanden kunnen worden afgelegd. Ongeveer driekwart van deze volledige EV's behoort tot de grotere voertuigsegmenten (segmenten C-E), die gemiddeld grotere accupakketten hebben (RVO, 2024).

Deze ontwikkelingen impliceren dat er grote hoeveelheden EV-batterijen op de Nederlandse markt zijn gekomen en de verwachting is dat deze trend nog door zal zetten. Levensduurschattingen van batterijen voor elektrische voertuigen variëren van 8 tot 15 jaar (Abdelbaky et al. 2021), maar ervaring leert dat gemiddeld meer dan 10 jaar hoogstwaarschijnlijk is. Als gevolg van de lange levensduur van deze batterijen en hun relatief recente intrede op de markt zijn de inzamelingsvolumes via

het Beheerplan van ARN (de relevante PVO) nog verwaarloosbaar in vergelijking met de hoeveelheden die op de markt worden gebracht (zie Figuur 4).

Figuur 4

Gewicht van EV- batterijen waar een beheerbijdrage voor werd betaald en gewicht van ingezamelde EV-batterijen in Nederland



Bron: ARN, 2017-2024

* Om het gewicht te schatten van de EV-batterijen waarvoor een beheerbijdrage wordt betaald, is het aantal EV's met beheerbijdrage vermenigvuldigd met een verondersteld gemiddeld batterijgewicht van 450 kilogram per voertuig.

De verwachting is bovendien dat de marktpenetratie van EV's in de toekomst alleen maar zal toenemen. Een van de ambities van het Klimaatakkoord is namelijk dat vanaf 2030 alle nieuw verkochte personenauto's in Nederland elektrisch zullen zijn. Vanaf 2035 zal dit sowieso gelden voor alle verkopen van nieuwe auto's in de EU. Uit recente voorspellingen blijkt dat het Nederlandse wagenpark in 2030 minstens zo'n 1,5 miljoen volledig elektrische auto's zou kunnen tellen en in 2035 3,2 miljoen (ElaadNL 2024). Uitgaande van een gemiddeld EV-batterijgewicht van 450 kilogram, vertalen deze cijfers zich naar 675 kiloton EV-batterijen aanwezig in Nederland in 2030 en meer dan 1,4 megaton in 2035. De Koning et al. (2024) stellen in een scenariostudie dat materiaalvoorraad aan Li-ion-batterijen (in elektrische, wijkbatterijen en thuisbatterijen) naar verwachting met een factor 38 toeneemt over de periode 2020 tot 2050.

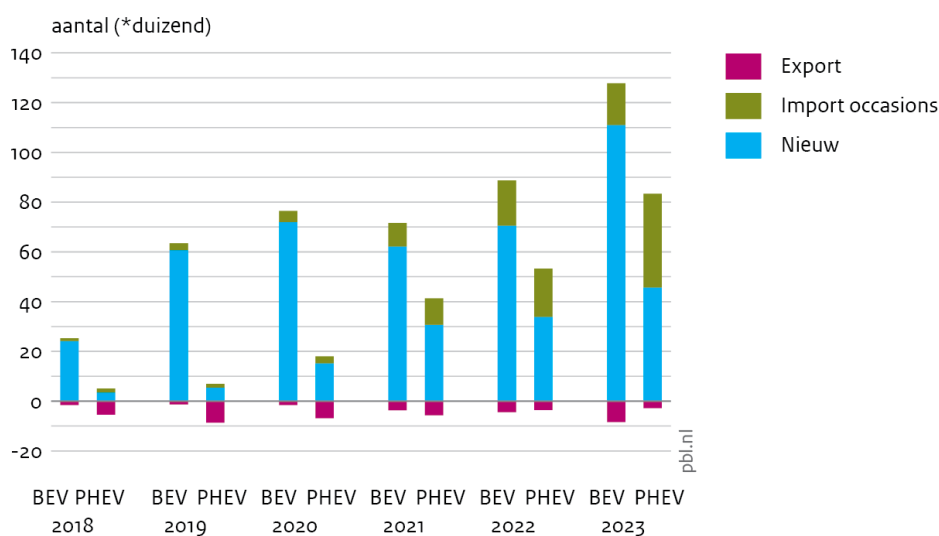
Relatief weinig EV-batterijen verlaten Nederland via export van tweedehands EV's

Batterijen verdwijnen soms over de grens via de export van tweedehands hybrides en EV's. In Figuur 5 is te zien dat het aantal geëxporteerde hybride en elektrische auto's nog betrekkelijk laag is vergeleken met de EV's die op de Nederlandse markt komen. Sinds 2021 bedraagt het aantal geëxporteerde volledige elektrische auto's (Battery Electric Vehicle, BEV) 5 tot 7 procent van het aantal dat op de markt komt, terwijl dit percentage voor plug-in hybrides (PHEV) drastisch is afgenomen – van

38 procent in 2020 en 14 procent in 2021 tot iets meer dan 3 procent in 2023. Deze laatste trend kan gedeeltelijk worden toegeschreven aan de voortdurende daling van het aantal geëxporteerde PHEV's sinds 2019. Per saldo is de instroom van batterijen in elektrische en plug-in hybride auto's nog steeds veel hoger dan hun uitstroom naar andere landen.

Figuur 5

In- en uitstroom van volledig elektrische en plug-in hybride personenauto's, 2018-2023



Bron: RVO (2024)

Een tweedehandsmarkt voor EV-batterijen bestaat wel, maar is nog erg klein

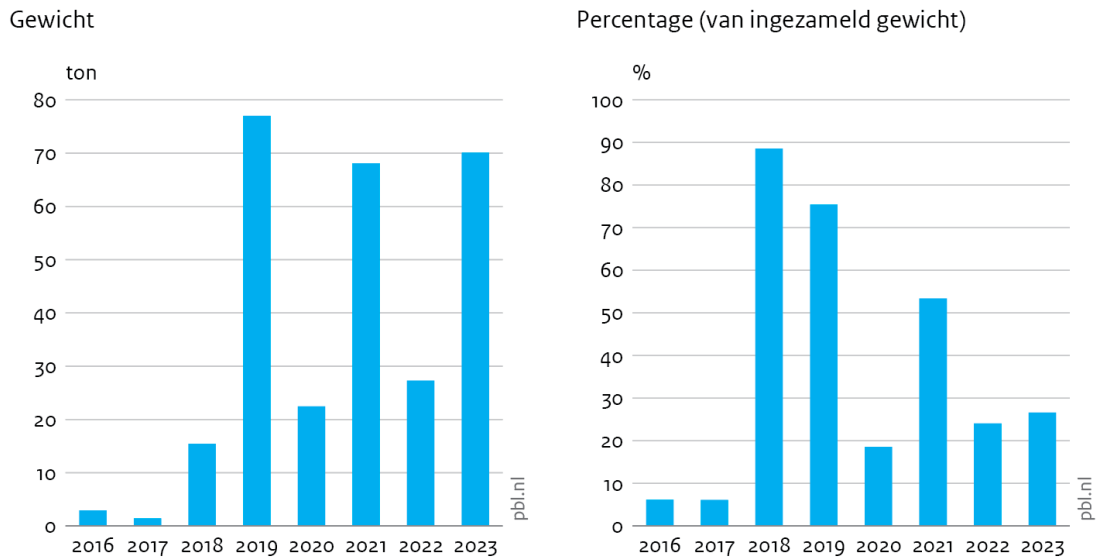
Afgedankte batterijen kunnen echter ook afkomstig zijn van nog rijdende voertuigen. Sterker nog, meer dan 90 procent van de EV-batterijmodules die via ARN zijn verzameld in de afgelopen jaren, kwam via die route. Een afgedankte lithium-ion EV-batterij kan nog zeven tot tien jaar dienst doen als opslag- en afgiftemedium voor energie (ARN, zonder datum). Zoals uit Figuur 6 blijkt, varieert het percentage EV-batterijen ingezameld via ARN dat in aanmerking komt voor tweede gebruik (second use) aanzienlijk van jaar tot jaar. In 2022 en 2023 ongeveer 1 op de 4 ingezamelde EV-batterijmodules heeft een tweede leven gekregen voornamelijk in stationaire toepassingen.

Uiteindelijk ontstaat er een uitdaging in het hergebruik van EV-batterijen

De toekomst van tweede gebruik voor EV-batterijen blijft onzeker, vooral gezien de voortdurend evoluerende batterijtechnologie (Abdelbaky et al. 2021). Bovendien zijn ongecontroleerde toepassingen van EV-batterijen voor tweede gebruik reden tot zorg. Af en toe proberen eigenaren van elektrische auto's gebruikte EV-batterijen in te zetten voor energieopslag thuis, met of zonder de hulp van niet-gecertificeerde technici. Momenteel zijn er geen voorschriften die dergelijke praktijken verbieden, hoewel ze grote veiligheidsrisico's met zich meebrengen. Een ander probleem dat door dergelijke praktijken wordt veroorzaakt, is dat geen enkele partij verantwoordelijk is voor de end-of-life-fase van de repurposed batterij.

Figuur 6

EV-batterijen die een tweede leven krijgen



Bron: Auto Recycling Nederland, 2017-2024

3.2.2 UPV-beleid ten aanzien van EV-batterijen

Er bestaat al sinds lange tijd een UPV voor batterijen

Batterijen worden in allerlei vormen al lang gebruikt. Vanwege de schadelijkheid van niet goed afgedankte batterijen worden producenten verantwoordelijk gehouden voor dit afvalbeheer. Dit om te voorkomen dat batterijen terecht komen in het huishoudelijk afval of op andere onjuiste manieren worden verwijderd en daar zorgen voor ernstige verontreiniging (Richtlijn 2006/66/EG inzake batterijen en accu's, alsook afgedankte batterijen en accu's en tot intrekking van Richtlijn 91/157/EEG). In Nederland is deze EU-richtlijn toegepast als de Regeling Beheer Batterijen en Accu's. Naar aanleiding van deze wetgeving bestaat ook al lange tijd een UPV-regeling voor de batterijen van elektrische voertuigen (EV's, zie ook Tijm et al. 2021). Onder deze wetgeving worden EV-batterijen onder de categorie "industriële batterijen" geschaard. Deze omvat een terugnamever-eiste voor producenten van EV-batterijen en een minimale doelstelling voor recyclingefficiëntie die 50 procent bedraagt van het gewicht van de ingezamelde batterijen.

UPV voor EV-batterijen is momenteel deels collectief en deels individueel georganiseerd

De meeste importeurs van EV-batterijen nemen deel aan het collectieve UPV-systeem van ARN (ARN Beheerplan). Deelnemende importeurs betalen een beheerbijdrage voor elke batterij die op de markt wordt gebracht aan ARN. Deze bijdrage neemt toe met de grootte van de batterij. Niet-deelnemende importeurs organiseren zelf de inzameling, verwerking en recycling van EV-batterijen.

Afgedankte EV-batterijen worden in Nederland verwerkt, maar de recycling ervan vindt in andere EU-landen plaats

Afgedankte EV-batterijen die onder het ARN Beheerplan vallen, worden verwijderd en verwerkt door demontagebedrijven. Deze bedrijven moeten er eerst voor zorgen dat de hoogspanningsaccu veilig uit het voertuig wordt verwijderd. Vervolgens bepalen ze of deze zijn levensduur kan voortzetten in stationaire of andere toepassingen voor tweede gebruik, en ten slotte sturen ze de accu voor hergebruik of recycling naar gespecialiseerde bedrijven. Voordat afgedankte batterijen voor recycling worden verstuurd naar andere EU-landen, worden ze verzameld door een bedrijf dat fungeert als sorteercentrum voor Nederlandse batterijen (ARN 2021). Voor de EV-batterijen die onder het ARN Beheerplan worden verwerkt, wordt ruimschoots voldaan aan de recyclingvereiste van 50 procent. De behaalde recyclingpercentages liggen de afgelopen jaren tussen de 60 en 70 procent (ARN 2024). Voor producenten die niet onder het ARN Beheerplan vallen, is gedetailleerde informatie over bestaande inzamelings- en recyclingprocessen en prestaties niet openbaar beschikbaar.

Recent is de UPV voor batterijen flink aangescherpt

De EU Batterijenverordening (Verordening (EU) 2023/1542 inzake batterijen en afgedankte batterijen), die in augustus 2023 van kracht werd, is een aanscherping ten opzichte van de voorgaande EU-richtlijn (2006/66). De nieuwe verordening introduceert een aparte categorie voor EV-batterijen en een UPV voor alleen dit batterijtype. De verordening zorgt ook voor aanvullende eisen, zoals een digitaal productpaspoort, een verklaring van de CO₂-voetafdruk, en veiligheidseisen aan hergebruik. Ook de aansturing is aangepast. Zo zijn recyclingvereisten aangescherpt. Vóór het jaar 2026 moeten de recyclingpercentages op basis van het gemiddelde gewicht voor batterijen gebaseerd op lithium voldoen aan een vereiste van 65 procent, en vóór 2031 aan een vereiste van 70 procent. Daarnaast gelden er voortaan vereisten voor materiaal terugwinning. Vóór 2028 moet al 90 procent van het kobalt, koper, lood en nikkel worden teruggewonnen en 50 procent van het lithium. Vóór 2032 zullen deze doelstellingen verder worden aangescherpt tot 95 procent voor kobalt, koper, lood en nikkel, en 80 procent voor lithium. Bovendien introduceert de verordening ook verplichte minimumniveaus van gerecycleerde materiaal (recyclaatvereisten) voor nieuwe batterijen om het gebruik van recyclaat van deze materialen te ondersteunen. De minimale vereisten voor recyclaat voor 2031 zijn vastgesteld op 16 procent voor kobalt, 85 procent voor lood, 6 procent voor lithium en 6 procent voor nikkel. Voor 2036 is dit 26 procent voor kobalt, 85 procent voor lood, 12 procent voor lithium en 15 procent voor nikkel.

3.3 Zonnepanelen

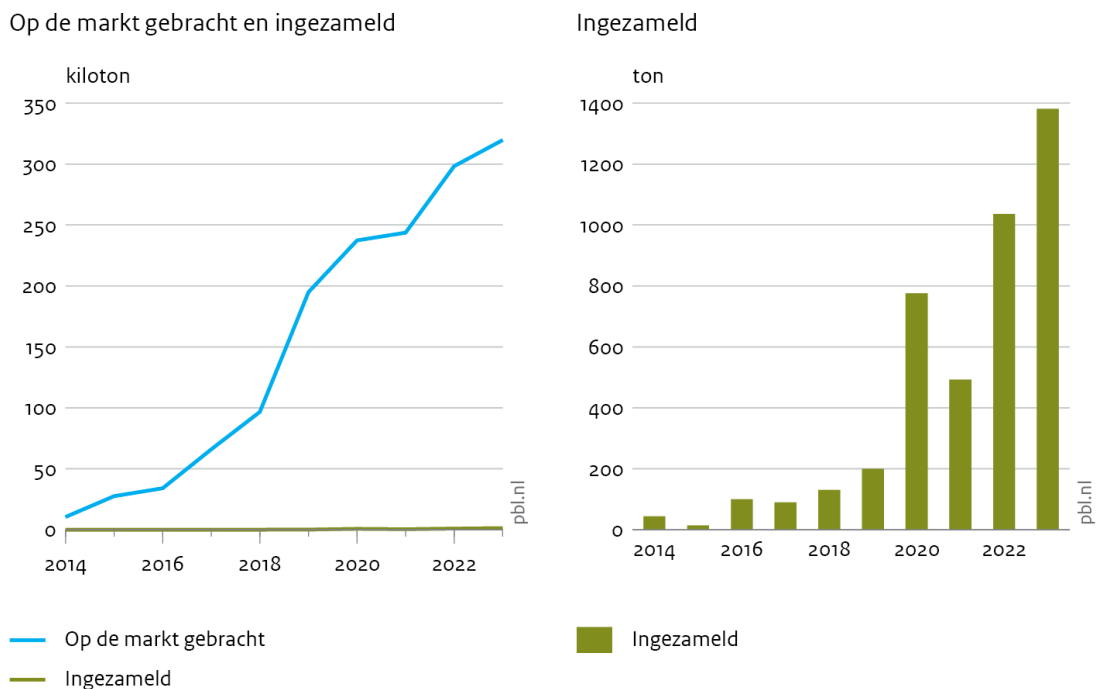
3.3.1 Type product en marktontwikkelingen

De markt voor zonnepanelen heeft recent een hoge vlucht genomen en zal naar verwachting op weg naar 2050 enorm verder groeien

De hoeveelheid zonnepanelen in Nederland is in de afgelopen jaren snel gestegen, zoals getoond in Figuur 7. Nederland had in 2022 van alle Europese landen het grootste opgestelde vermogen per hoofd van de bevolking (CBS 2023b). Als gevolg van deze ontwikkeling is ook de hoeveelheid zonnepanelen die worden ingezameld en verwerkt sinds 2020 gestegen (zie Figuur 7), zij het dat de omvang hiervan nog steeds laag is in absolute termen. Met name ligt het inzamelingspercentage ver onder de 1 procent. Dit heeft vooral te maken met de levensduur van het product, die al gauw meer dan 20 jaar bedraagt.

Figuur 7

Op de markt gebrachte en ingezamelde zonnepanelen in Nederland, 2014-2023



Bron: Nationaal (W)EEE Register, 2021, 2022, 2023

De verwachting is dat het geïnstalleerde zonvermogen de komende jaren zal blijven groeien. Netbeheer Nederland (2023) noemt in de verkenning van het energiesysteem in 2050 een opgesteld vermogen aan zon-PV (*photovoltaic*) van 100 tot 183 gigawatt (zowel op land en water, als op gebouwen en woningen). In 2019 was dat 6,2 gigawatt aan vermogen. De Koning et al. (2024) werken de gemiddelde schatting van Netbeheer Nederland uit tot een scenario voor de hoeveelheden materiaal, en vinden in het basisscenario dat de materiaalvoorraad aan PV-zonnepanelen met een factor 11 toeneemt over de periode 2020 tot 2050. Terwijl het volume afgedankte zonnepanelen in Nederland momenteel laag is, wordt in de toekomst een grote uitstroom verwacht, waarbij de snelste groei na 2033 zal plaatsvinden (Späth et al. 2022).

De tweedehandsmarkt voor zonnepanelen is nog klein

Volgens WEEE Nederland (2024) zijn afgedankte zonnepanelen vaak goed te hergebruiken. In Nederland komen nu ongeveer 2.500 panelen per jaar vrij voor hergebruik. Uitgaande van een gemiddeld gewicht van 20 kg (Sungevity 2023) betekent dit dat er per jaar ongeveer 50 ton zonnepanelen hergebruikt kunnen worden. Maar momenteel bestaat deze tweedehands markt eigenlijk nauwelijks. Over het algemeen blijft het onzeker of er in Nederland en andere EU-landen een levensvatbare markt voor gebruikte zonnepanelen zal ontstaan, vooral gezien het feit dat nieuwe panelen steeds goedkoper en efficiënter worden (Tao et al. 2020; Wade et al. 2017).

Sommige zonnepanelen verdwijnen over de grens via export maar er is geen zicht op hoeveel dat zijn

Gebruikte zonnepanelen met een resterende capaciteit tussen 80 en 90 procent zijn in principe geschikt om te exporteren en in het buitenland in gebruik te nemen. Dat kan bijvoorbeeld in Oost- of Zuid-Europa, of in Afrika (WEEE Nederland 2024). Het is niet bekend hoeveel zonnepanelen op deze

manier Nederland verlaten, maar in de jaarlijkse officiële rapportages is hun aantal verwaarloosbaar (zie Nationale (W)EEE Register 2022, 2023, 2024).

Als gevolg van het snel stijgende aantal zonnepanelen ontstaat ook hier een uitdaging in de verwijdering en verwerking

Zonnepanelen bestaan voor 70 tot 75 procent van het gewicht uit glas en voor 10 tot 15 procent uit aluminium (Graulich et al. 2021). Een klein percentage in termen van gewicht heeft betrekking op kritieke materialen. Ongeveer 95 procent van de wereldwijd geïnstalleerde zonnepanelen bevat siliciumkristallen (Huisman et al. 2020). Momenteel is de terugwinning van grondstoffen heel beperkt want meestal niet lonend en dus worden de afgedankte exemplaren vooral gedowncycled tot vulmateriaal voor wegen en gebouwen (zie ook Bos 2023). Het is lastig (hoewel mogelijk, Lijzen et al. 2024) om teruggewonnen silicium in nieuwe zonnepanelen te gebruiken, ook omdat silicium een zeer hoge zuiveringsgraad moet hebben om te kunnen worden gebruikt in zonnepanelen.

3.3.2 UPV-beleid ten aanzien van zonnepanelen

Het afvalbeheer voor zonnepanelen valt momenteel al onder een UPV-regeling

Voor zonnepanelen geldt sinds 2012 een UPV-regeling via de EU-brede richtlijn voor *afgedankte elektrische en elektronische apparatuur* (WEEE Directive 2012/19EU, in Nederland geïmplementeerd als de AEEA-richtlijn). De richtlijn kent een vereiste van gescheiden inzameling van 65 procent op basis van het gemiddelde gewicht van *alle* elektrische apparaten die de afgelopen drie jaar in een lidstaat op de markt zijn gebracht. Als alternatief kunnen producenten ervoor kiezen om 85 procent van het geproduceerde elektronische afval in een jaar apart in te zamelen. De hoeveelheid elektronisch afval wordt geschat volgens een methode ontwikkeld door de Europese Commissie. Daarnaast is er een specifieke recyclingvereiste voor zonnepanelen van 80 procent, en een *recovery*-vereiste – dus recycling plus verbranding voor energieopwekking – van 85 procent.

Aan de gecombineerde inzamelingsvereiste, waarbij zonnepanelen meetellen met andere elektrische en elektronische apparaten, wordt nog lang niet voldaan

In de meeste lidstaten van de EU wordt de 65 procent inzamelingsvereiste gebruikt, die gebaseerd is op de verkoop in gewicht (kilogrammen) in de afgelopen drie jaar. Ten opzichte van andere producten in deze categorie zijn zonnepanelen zwaar en hebben ze een langere levensduur. Zonnepanelen zijn verantwoordelijk voor ongeveer een derde van het gewicht van alle elektronische producten die jaarlijks op de Nederlandse markt worden gebracht. Door dit relatief hoge gewicht in de verkopen van de laatste jaren en de lange levensduur van zonnepanelen is het nu vrijwel onmogelijk om aan deze inzamelingsvereiste te voldoen en wat dus ook in Nederland niet lukt. Nog problematischer aan deze vereiste is dat deze in strijd is met levensduurverlenging. Zonnepanelen en andere producten die nog in gebruik zijn, kunnen immers niet ingezameld worden.

De alternatieve inzamelingsvereiste – 85 procent van het geproduceerde elektronische afval in dat jaar – lijkt in beginsel meer geschikt omdat deze zich richt op schattingen van de hoeveelheid *afgedankte* producten. Om een idee te geven van de implicaties van de invoering van deze vereiste: de geschatte hoeveelheid afgedankte zonnepanelen bedraagt slechts 2-3 procent van de gemiddelde hoeveelheid die in de afgelopen drie jaar op de markt is gebracht. Maar ook aan deze vereiste wordt momenteel niet voldaan. In 2023 bedroeg het inzamelingspercentage slechts 16 procent van de geschatte hoeveelheid afgedankte zonnepanelen (Nationale (W)EEE Register 2024).

De recyclingvereiste voor zonnepanelen gaat niet gepaard met terugwinningsvereisten voor kritieke materialen en wordt voornamelijk ingevuld met downcycling via laagwaardige toepassingen

De recyclingvereiste voor zonnepanelen is de afgelopen twee jaar behaald, maar dit gebeurde voornamelijk door downcycling. De meeste ingezamelde zonnepanelen worden naar recyclingfaciliteiten in omliggende landen gestuurd, die eerst het aluminium frame, de aansluitdoos en de koperen kabels verwijderen en vervolgens de rest van het materiaal mechanisch vermalen en versnipperen. Het resulterende materiaal – dat onder andere zilver en silicium bevat – wordt vervolgens gebruikt als vulmateriaal in de bouwsector. Door dergelijke downcycling gaan waardevolle kritieke materialen verloren in laagwaardige toepassingen, in plaats van te worden gebruikt bij de productie van nieuwe zonnepanelen. Ook het glas in zonnepanelen, dat vanwege het aanwezige antimoon (ook een kritiek materiaal) ingezet zou kunnen worden voor de productie van nieuwe zonnepanelen, wordt nu niet hoogwaardig gebruikt.

De afvalbeheerbijdrage voor zonnepanelen is in 2023 fors verhoogd om beter rekening te houden met de huidige en toekomstige inzamelings- en recyclingkosten

In juli 2023 werd de afvalbeheerbijdrage voor zonnepanelen verhoogd van 6,5 naar 40 EUR per ton. Gemiddeld komt dit neer op ongeveer 0,8 euro per zonnepaneel, nog steeds een heel klein bedrag vergeleken met zijn aanschafkosten. Met de hogere bijdragen heeft Stichting OPEN een apart fonds opgezet voor de inzameling en recycling van zonnepanelen, waarbij rekening wordt gehouden met de verwachte kosten die het oplopende aantal afgedankte zonnepanelen in de toekomst met zich mee zal brengen.

3.4 Windmolens

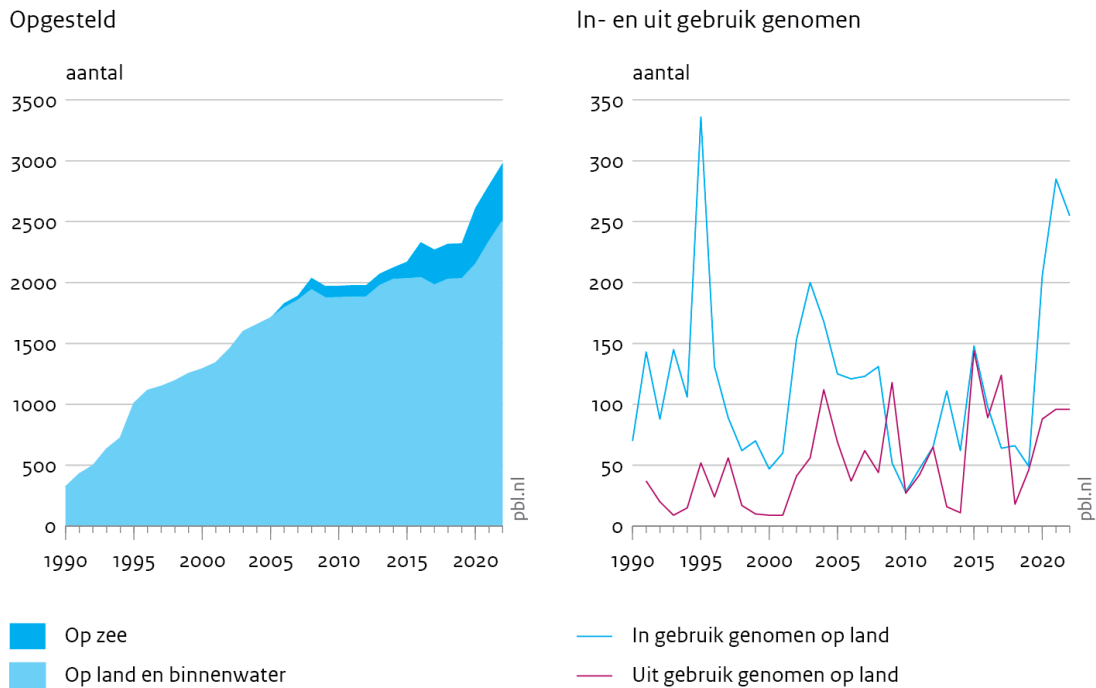
3.4.1 Type product en marktontwikkelingen

De markt voor windmolens bestaat al lang

Moderne windmolens worden in Nederland al heel lang gebruikt zoals blijkt uit Figuur 8a. De oudste geïnstalleerde windmolens op land zijn al voor 1990 neergezet. Daarna vond een geleidelijke groei plaats tot een tijdelijk plafond van ongeveer 2.000 windmolens werd bereikt in 2008. Vanaf 2013 is weer sprake van een groei, vooral van aantallen windmolens op zee, maar vanaf 2020 ook van aantallen windmolens op land. Het totaal aantal windmolens bedroeg ongeveer 3.000 in 2022. In Nederland worden elk jaar ook een redelijk aantal windturbines buiten gebruik gesteld, hoewel dit aantal sterk fluctueert per jaar (zie Figuur 8b).

Figuur 8

Aantallen windmolens geïnstalleerd en ontmanteld in Nederland, 1990-2022



Bron: CLO (2023), CBS (2024)

De komende jaren zullen steeds meer windmolens het einde van hun levensduur bereiken

Net als bij elektrisch rijden en energie uit zon-pv, is de verwachting dat windenergie nog aanzienlijk in belang zal groeien. Netbeheer Nederland (2023) noemt in de verkenning van het energiesysteem in 2050 cijfers over het opgesteld vermogen van windenergie (zowel op land als op zee) van 48 tot 92 gigawatt. In 2019 was dat 4 gigawatt aan vermogen. De Koning et al. (2024) vinden in hun basis-scenario dat de materiaalvoorraad aan PV-zonnepanelen nog met een factor 4,4 toeneemt over de periode 2020 tot 2050. De opkomst van windparken op zee is relatief recent (vanaf 2005), en daardoor hebben nog maar weinig wind op zee-installaties het einde van hun levensduur bereikt. Dit aantal zal uiteraard toenemen naarmate er meer windmolens worden geïnstalleerd. Tussen 1991 en 2022 zijn in Nederland meer dan 1650 windmolens op land buiten gebruik gesteld (Figuur 7). Uit een materiaalstroomanalyse van windparken op de Noordzee blijkt dat het jaarlijks aantal buiten bedrijf te stellen windmolens zal toenemen van 10-15 in 2020 naar 100-125 turbines in 2030, en zal bereiken 250-300 in 2050 (van der Meulen et al. 2020).

Voor afgedankte windmolens is een levendige tweede handsmarkt, vaak in andere EU-landen

Diverse Nederlandse bedrijven zijn actief op de tweedehandsmarkt van windmolens. Volgens handelaar in tweedehands windmolens *Business in Wind* kan tachtig procent van de neergehaalde turbines herplaatst worden. Zij en andere Nederlandse handelaars leveren tweedehands molens bijvoorbeeld aan het Verenigd Koninkrijk, Italië, Zweden, Polen en ook Kazachstan. Het bedrijf *Sparcs in Motion* noemt de herplaatsing in Europa puur een kostenkwestie. Het verlopen van de subsidiebeschikking (in Nederland na 15 jaar) is volgens de bedrijven vaak een reden om ze af te breken en in andere landen opnieuw te installeren (Trouw 2023, *Ook de windmolen blijkt een tweede leven te hebben*).

Volgens *Business in Wind* zijn er twee belangrijke redenen waarom bestemmingslanden voor gebruikte windmolens kiezen. Ten eerste kunnen op sommige locaties alleen modellen worden geïnstalleerd die kleiner zijn dan de momenteel geproduceerde nieuwe windmolens. Dit hangt samen met beperkingen door regelgeving, logistieke uitdagingen vanwege de geomorfologie van de locatie van het windmolenpark of door nabijgelegen weginfrastructuur. Ten tweede zijn er financiële redenen die een lagere kapitaalinvestering aantrekkelijker maken, met name in contexten waar financiering duur is, bijvoorbeeld in landen met hoge rentes en lage arbeidskosten.

De toenemende omvang van windmolens maakt ze minder aantrekkelijk op de tweedehandsmarkt

In de afgelopen 25 jaar is de gemiddelde tiphoogte van een windmolen met 225 procent toegenomen, van 73 naar 237 meter (WindStats 2024). Deze groei heeft een drastische toename van het energieproductiepotentieel van windturbines mogelijk gemaakt. Het heeft echter ook belangrijke implicaties voor de tweedehandsmarkt van windmolens. Grote windmolens zijn niet geschikt voor plaatsen met hoogtebeperkingen en hebben een zeer goed ontwikkelde infrastructuur nodig om naar windparklocaties in andere landen te worden getransporteerd. Bovendien nemen de transportkosten drastisch toe met de grootte van de windmolen, waardoor de aankoop van een gebruikte windmolen volkomen onaantrekkelijk wordt. Zo kost het verhuizen van een windmolen met een vermogen van 2 megawatt meer dan drie keer zoveel als de verhuizing van een windmolen van 1 megawatt, en het verhuizen van een windmolen met 5 megawatt vermogen zelfs tien keer zo veel (Grootenhuis et al. 2024).

Afgedankte windmolens brengen uitdagingen met zich mee, zoals het recyclen van de windmolenbladen en het terugwinnen van kritieke materialen

Windmolens bestaan voor ongeveer 85 tot 90 procent uit staal, dat als bulkmetaal gemakkelijk gerecycled kan worden. De uitdaging in termen van circulariteit ligt in de bladen van de windmolens, die meestal zijn gemaakt van composietmaterialen. Deze composieten bevatten vaak een combinatie van kunststof en glasvezels en zijn bijzonder moeilijk te recyclen. Wel kunnen zij gebruikt worden in speciale toepassingen, zoals meubels, maar dit is geen oplossing voor de grote stromen afgedankte windmolenwieken in de nabije toekomst. Diverse windmolenfabrikanten, startups en andere bedrijven zijn druk bezig met het vinden van oplossingen voor het recyclen van deze materialen, maar het opschalen van deze innovatieve recyclingtechnieken blijft een uitdaging (Bos 2023; Recycling Nederland 2023).

Verder zitten er veel kritieke grondstoffen, inclusief zeldzame aardmetalen, koper, nikkel, en mangaan, in verschillende elementen van windmolens (Bobba et al. 2020). Hoewel er voor koper, nikkel en mangaan een volwassen recyclingmarkt bestaat, wordt minder dan 1 procent van de in de EU verbruikte zeldzame aardmetalen gerecycled (Onstad 2024). Het is daarom belangrijk om ervoor te zorgen dat de zeldzame aardmetalen in de permanente magneten van windmolengeneratoren worden teruggewonnen en gebruikt bij de productie van nieuwe magneten of andere hoogwaardige toepassingen.

3.4.2 Beleid voor afgedankte windmolens

Opmerkelijk is dat er nergens een UPV-systeem van toepassing is voor windmolens

Momenteel is er geen beleid gericht op de eindfase van windmolens zoals dat bij batterijen en zonnepanelen wel het geval is. Uiteindelijk vallen afgedankte windmolens daardoor onder de voor de

eindverwerking van afval in het algemeen geldende regelgeving. In Nederland stelt het Landelijk Afval Plan (LAP3) in dat kader het storten of verbranden van composieten – inclusief die in windmolensbladen – verboden is tenzij alternatieve verwerking duurder is dan €205/ton. Het recyclen van composieten uit turbinebladen kost gemiddeld €1400/ton waardoor de bladen vaak worden verbrand, bijgemengd in asfalt of in opslag blijven liggen wachtend op alternatieve verwerkingsmethode. Het Nationaal Programma Circulaire Economie (NPCE; Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat 2023) besteedt wel meer aandacht aan circulariteit van windmolens, maar concrete voorstellen voor maatregelen zijn zeer beperkt (Warringa et al 2024).

4 Sleutels voor verbetering

De energietransitie zorgt voor een snelle opkomst van producten waarvan het afdanken belangrijke uitdagingen met zich meebrengt

Zoals hiervoor aangegeven zal door de energietransitie het aantal EV-batterijen, zonnepanelen en windmolens fors toenemen in de komende decennia. Het is van belang om nu al te doordenken welke aanpassingen van het UPV-beleid nodig zijn om de uitdagingen die deze ontwikkelingen in de afdankfase met zich meebrengen het hoofd te bieden. Met name dankzij de lange levensduur zullen de grote aantallen nog op zich laten wachten, en geven deze producten problemen bij toepassing van de bestaande UPV's met name in het geval van afgedankte elektrische en elektronische apparaten (AEEA). In dit hoofdstuk gaan we dieper in op mogelijke aanpassingen in UPV-beleid met als doel de afdankfase voor deze producten toekomstbestendig te maken.

We identificeren vijf sleutels voor de verbetering van UPV- en gerelateerd beleid voor EV-batterijen, zonnepanelen en windmolens

De sleutels zijn:

1. Pas UPV toe op meer producten en bevorder de implementatie van UPV in landen buiten de EU.
2. Houd bij bestaande en nieuwe UPV-systemen beter rekening met specifieke kenmerken van deze producten.
3. Stimuleer een langere levensduur door UPV-vereisten die reparatie en hergebruik aanmoedigen, productpaspoorten, en gerichte fondsen.
4. Bevorder hoogwaardige recycling en terugwinning van kritieke grondstoffen door terugwinningvereisten en aanvullende vereisten in productontwerp.
5. Zorg voor een gelijk speelveld en faciliteer handhaving.

Sleutels 3 en 4 zijn gebaseerd op de circulaire strategieën *slow the loop* en *close the loop*. De andere twee strategieën (*narrow the loop* en substitutie) zijn voor de onderzochte producten sowieso minder van belang omdat de energietransitie grotere aantallen installaties vereist die niet van biotisch materiaal kunnen worden gemaakt.

4.1 Pas UPV op meer producten toe

De huidige reikwijdte van UPV is beperkt voor wat betreft de producten die in de energietransitie centraal staan

In het vorige hoofdstuk is aangegeven dat huidige UPV's al van toepassing zijn op twee van de drie producten die in deze policybrief centraal staan, te weten voor EV-batterijen en zonnepanelen. Voor windmolens is er nog geen UPV. Gezien de verwachte snelle groei van een aantal andere producten zou het verstandig zijn de reikwijdte van bestaande UPV goed onder de loep te nemen en waar nodig naar andere producten uit te breiden.

Een UPV voor windmolens zou bijvoorbeeld de recycling van composietmaterialen kunnen bevorderen

Zoals eerder aangegeven zitten er kritieke grondstoffen in verschillende onderdelen van windmolens. Daarbij zijn de windmolenbladen van composietmateriaal de belangrijkste uitdaging voor

recycling en circulariteit van windmolens. De introductie van een nieuwe UPV-regeling voor windmolens zou hier een belangrijke rol kunnen spelen. Dit zou bijvoorbeeld tot meer transparantie over de afvalfase leiden en een recyclingindustrie voor composietmaterialen stimuleren. Bij voorkeur zou zo'n UPV gekoppeld zijn aan minimale recycelaatsvereisten in nieuwe windmolens, om een duurzame omgang met afgedankte windmolenbladen en andere windmolencomponenten te stimuleren (Majewski et al. 2022; Martinez-Marquez et al. 2022; Mishnaevsky 2021).

Een probleem is dat de reikwijdte van UPV-systemen nu ophoudt aan de grens

Als producten het Nederlandse grondgebied verlaten via export, verliest de UPV haar werking. Zelfs binnen de EU, waar ieder land verplicht is om UPV's toe te passen, zijn de verschillen groot. Dit zorgt voor 'lekkage' en impliceert een onbenut potentieel om met UPV de levensduur van deze producten te verlengen, ze na gebruik en afdanking op een juiste manier te verwerken, en leveringsrisico's voor kritieke grondstoffen te voorkomen. Daarom zou een UPV voor windmolens bij voorkeur EU-breed zijn.

Implementatie van effectieve UPV-systemen in landen zowel binnen als buiten de EU zou de juiste inzameling en verwerking van geëxporteerde tweedehandsproducten aan het einde van hun levensduur vergemakkelijken

Grote volumes afgedankte EV-batterijen, zonnepanelen en windmolenbladen zullen uiteindelijk moeten worden ingezameld en verantwoord verwerkt, zowel binnen als buiten de EU. Daarvoor is het niet alleen van belang dat er UPV-systemen voor al deze producten zijn, maar ook dat deze zo effectief mogelijk worden opgezet. Binnen de EU verschilt de effectiviteit van UPV-systemen echter sterk, en voor producten die geëxporteerd worden naar landen buiten de EU is meestal niets geregeld. Door kennis over te dragen naar andere landen bij het ontwikkelen van hun eigen UPV-systemen kan Nederland ervoor zorgen dat gebruikte EV-batterijen, zonnepanelen en windmolens langer koolstof- en luchtmissies blijven besparen, en vooral dat een verantwoorde verwerking van afgedankte producten en terugwinning van kritieke grondstoffen wordt gefaciliteerd. Deze hulp kan komen van PVO's en andere UPV-belanghebbenden in Nederland en kan de vorm aannemen van financiële en organisatorische ondersteuning, waaronder het delen van kennis uit hun lange ervaring met UPV-implementatie (Lucas et al. 2022; Tijm et al. 2021).

Om milieuschadelijke afdanking en verlies van kritieke materialen te voorkomen zou nog eens kritisch in het UPV-beleid naar de rol van export van tweedehands producten naar derde landen kunnen worden gekeken

Vanuit geopolitiek oogpunt is het belangrijk dat de EU ook toegang heeft tot materialen die worden teruggewonnen in bestemmingslanden. Het exporteren van deze producten staat hier echter haaks op. Onderzocht zou kunnen worden of het mogelijk is om terugwinning te garanderen via kennisoverdracht bijvoorbeeld in combinatie met financiële steun – gefinancierd via UPV-systemen in de EU – voor de gerecycleerde materialen die in het bestemmingsland worden teruggewonnen. Dit zou kunnen worden gewaarborgd via bilaterale of multilaterale handelsovereenkomsten met bestemmingslanden. Een groter aantal landen dat UPV implementeert voor energietransitieproducten betekent hoe dan ook meer bronnen van secundaire materialen en dus lagere risico's voor de leveringszekerheid. De toegenomen concurrentie tussen bronnen kan leiden tot lagere prijzen voor secundaire materialen.

4.2 Houd beter rekening met afwijkende productkenmerken

Vereisten binnen de UPV-systemen zoals inzamelingsdoelstellingen houden nu onvoldoende rekening met de kenmerken van de onderzochte energietransitieproducten

De kenmerken van de hier onderzochte energietransitieproducten zijn vaak heel anders dan die van andere producten die onder hetzelfde UPV-systeem vallen. Zoals aangegeven in hoofdstuk 3 geldt dat in de eerste plaats voor de vaak langere levensduur, maar ook voor de gebruikte materialen, waaronder vaak kritieke grondstoffen. Aanpassing van de bestaande UPV-systemen die gericht waren op een andere samenstelling van producten is daarom noodzakelijk. Dit komt ook mede doordat de bestaande UPV-systemen vooral ontworpen zijn voor de consumentenmarkt. Voor EV-batterijen lijkt de nieuwe Batterijenverordening de geconstateerde problemen aardig te ondervangen.

Voor zonnepanelen is het essentieel om aparte UPV-vereisten in het leven te roepen

Zonnepanelen zorgen nu voor een flinke verstoring van de huidige UPV voor AEEA. Dit heeft alles te maken met het grotere gewicht en de veel langere levensduur van zonnepanelen vergeleken met andere elektronische apparatuur waarop de huidige UPV is ingericht. Nu is de inzamelingsvereiste gebaseerd op het gewicht van op de markt gebrachte elektrische en elektronische apparaten met een veel kortere levensduur. Daarom zouden zonnepanelen bijvoorbeeld beter een eigen inzamelingsvereiste moeten krijgen zodat beter rekening kan worden gehouden met hun afwijkende levensduur (zie ook volgende sleutel).

Windmolens hebben naar de aard van hun ontwerp bijzondere productkenmerken

Zoals aangegeven is de markt voor windmolens juist weer vrij specifiek. De palen zijn goed te recycleren, ook zonder beleid. Maar voor de bladen geldt juist het tegenovergestelde. Een UPV voor windmolens zou het dan mogelijk maken om meer gericht eisen te stellen aan windmolenbladen en de recycleerbaarheid daarvan.

4.3 Stimuleer levensduurverlenging door slimmer UPV-ontwerp

Levensduurverlenging wordt niet gestimuleerd door de huidige vormgeving van UPV's

Nu al doen zich bij de bestaande UPV-systemen problemen voor ten aanzien van reparatie en hergebruik en een werkbare tweedehandsmarkt. Dat geldt zeker ook voor EV-batterijen en zonnepanelen. Slechts een fractie van de batterijen die uit elektrische voertuigen worden verwijderd, vindt een tweede leven in stationaire toepassingen. En zonnepanelen kunnen te vroeg worden afgedankt, bijvoorbeeld als de vergunning voor het zonnepark afloopt. Ook voor windmolens is een betere benutting van de materialen mogelijk. Tijdens periodieke onderhoudscontroles van windturbines wordt de voorkeur gegeven aan nieuwe onderdelen boven functionele tweedehandsonderdelen. Bovendien worden windturbines steeds groter, wat hun potentieel voor hergebruik in het buitenland beperkt door hogere transportkosten en milieu- en regelgevingsbeperkingen in andere landen.

Meer hergebruik van afgedankte EV-batterijen vereist hogere eisen aan veiligheidsaspecten

Bij batterijen zijn al wel nuttige stappen gezet. De Batterijenverordening belooft een aantal van de veiligheidsproblemen die gepaard gaan met batterijtoepassingen voor tweede gebruik weg te nemen door UPV in te voeren voor batterijen voor tweede gebruik en door eisen te stellen voor het testen van de gezondheidstoestand en de capaciteit vóór hergebruik. Hierdoor kunnen meer EV-batterijen een tweede leven krijgen.

Om de inzamelingsvereisten voor zonnepanelen in lijn te brengen met het streven naar levensduurverlenging zijn aanpassingen nodig

De inzamelingsvereisten van zonnepanelen houden geen rekening met de lange levensduur en ondermijnen zelfs hergebruik en reparatie. Als een zonnepaneel wordt gerepareerd of hergebruikt kan het niet worden ingezameld, en telt het dus niet mee bij het voldoen aan de inzamelingsvereiste. Bij een apart systeem zoals hiervoor al bepleit, zouden zonnepanelen een specifieke inzamelingsvereiste kunnen krijgen dat gebaseerd is op realistische inschattingen van de hoeveelheid afgedankte zonnepanelen.

Het instellen van reparatie- en hergebruikfondsen biedt een veelbelovende aanpak in het UPV kader

Fondsen voor reparatie en hergebruik zouden kunnen worden geïntroduceerd in het kader van een anti-afvalwet. Net als in Frankrijk kunnen deze fondsen worden gefinancierd en beheerd door PVO's voor specifieke UPV-regelingen. Het fonds subsidieert reparatiekosten voor consumenten en de bereikbaarheid van reparatiediensten. Reparatiesubsidies voor consumenten komen in de vorm van vouchers waarvan de waarde gelijk is aan een vast percentage van de reparatiekosten van het product. De rest van de reparatiekosten worden betaald door consumenten. Ook in Nederland zouden zulke fondsen kunnen bijdragen aan een langere levensduur van energietransitieproducten, zoals zonnepanelen.

En daarbij kan een digitaal productpaspoort helpen om de levenscyclus van zonnepanelen en windmolens te monitoren

Op dit moment heeft de onder UPV verplichte verslaglegging vrijwel alleen betrekking op de afvalfase en de hoeveelheid op de markt gebracht producten. Daardoor is er vaak gebrek aan inzicht in het hergebruik, de tweedehands markt en de export van zonnepanelen en windmolens. Productpaspoorten maken het volgen van deze producten in de tijd gemakkelijker en maken duidelijk uit welke materialen de producten precies bestaan. Hierbij kan goed worden aangesloten bij de nieuwe Batterijenverordening die deze paspoorten verplicht stelt voor essentiële details, zoals een unieke productidentificatie, nalevingsdocumentatie en informatie over zorgwekkende stoffen.

Verouderde technologieën blijven mogelijk een tweede leven vinden in andere toepassingen of in andere landen, maar hergebruikopties kunnen in de toekomst afnemen zonder aanvullend beleid

De grootte en het vermogen van nieuwe windmolens nemen snel toe. Zonnepanelen worden aanzienlijk efficiënter. De populariteit van batterijchemie zoals LFP (lithium-ijzer-fosfaat), die minder afhankelijk van kritieke grondstoffen en goedkoper te produceren is dan de momenteel gangbare chemie in EV-batterijen, stijgt. Al met al lijkt het waarschijnlijk dat alle momenteel gebruikte technologieën eerder verouderd zullen zijn dan het einde van hun technische levensduur.

Snellere afschrijving vanwege technologische vooruitgang betekent niet dat deze producten per se eerder ook in de afdankfase terechtkomen. Vaak zijn er nog zinvolle toepassingen in andere landen, bijvoorbeeld omdat van tweedehands producten de investeringskosten lager zijn. Dat is precies de reden waarom export in deze fase vaak aan de orde is. Tegelijk zijn er ook tendensen die deze toepassing verder bemoeilijken. Zo worden oudere windmolens momenteel geëxporteerd naar andere Europese landen. Het is echter onwaarschijnlijk dat deze trend zich zal voortzetten vanwege de alsmaar toenemende omvang van windmolens. Hierdoor stijgen de kosten om ze te verplaatsen en neemt het aantal bestemmingen waar ze kunnen worden geïnstalleerd af.

4.4 Bevorder hoogwaardiger recycling en terugwinning kritieke grondstoffen

Ontoereikende terugwinning van kritieke materialen en het gebrek aan recyclingmogelijkheden voor sommige materialen belemmeren de duurzaamheid van energietransitieproducten

Er zijn toenemende zorgen over de afhankelijkheid van kritieke grondstoffen waarvan winning en verwerking geconcentreerd zijn in een klein aantal landen ver van Europa en de nadelige gevolgen voor het milieu van de mijnbouw van deze grondstoffen. Tegelijk is terugwinning van sommige kritieke grondstoffen uit afgedankte hernieuwbare energietechnologieën niet altijd rendabel. Hoog zuiver silicium wordt doorgaans niet teruggewonnen uit afgedankte zonnepanelen en deze worden mede daardoor routinematig gedowncycled tot bouwmaterialen (laagwaardige toepassing). Er is weinig bekend over het lot van zeldzame aardmetalen in afgedankte windturbinegeneratoren. Hoewel lithium, kobalt, nikkel en mangaan worden teruggewonnen uit EV-modules die in het kader van het ARN-beheerplan zijn gerecycled, is het onduidelijk of dit ook het geval is voor EV-batterijen van producenten die niet aan dat beheerplan deelnemen. Bovendien lijkt er een onbenut potentieel te bestaan in de terugwinning van grafiet omdat dit momenteel zeer energie-intensief is.

Ook het recyclen van windmolenbladen van composietmaterialen blijft een grote uitdaging. De recyclingcapaciteit in de EU is zeer laag en kan zelfs de – momenteel relatief kleine – hoeveelheid afgedankte bladen niet verwerken, zodat deze meestal worden verbrand of gestort. Verwerking van deze bladen in cement kan een manier zijn om afgedankte bladen te verwerken, maar dat komt nog steeds neer op downcycling. Hoewel enig optimisme gerechtvaardigd wordt door de R&D-inspanningen van grote windmolenfabrikanten om bladen te bouwen van beter recyclebare materialen en om recyclingtechnieken voor composieten in bestaande bladen te bevorderen, is het onduidelijk hoe snel dergelijke vooruitgang zou kunnen worden opgeschaald zonder gerichte beleidsondersteuning.

Terugwinningsvereisten voor kritieke materialen en eisen voor producenten om recycelaat in te zetten zouden samen kunnen bijdragen aan de vermindering van milieuvervuiling door winning van nieuwe primaire grondstoffen en de leveringsrisico's daarvan

Een nuttige aanvulling op de huidige UPV-regelingen zouden terugwinningsvereisten voor kritieke materialen zijn. Een eerste stap in deze richting is gezet door de nieuwe EU Batterijenverordening (2023), die dergelijke vereisten heeft geïntroduceerd voor de terugwinning van kobalt, koper, lood, lithium en nikkel. Zo moet bijvoorbeeld vanaf het jaar 2027 minstens 50 procent van het gebruikte lithium in batterijen teruggewonnen worden. Ook voor zonnepanelen zouden terugwinningsvereisten voor hoogzuiver silicium en misschien ook andere kritieke materialen worden gesteld. Circulariteit in de windenergiesector kan worden gestimuleerd door een UPV-regeling met heldere vereisten

voor de recycling van composieten in windmolenbladen, en terugwinningsvereisten voor zeldzame aarden en andere kritieke materialen in windturbinegeneratoren.

Verder kunnen ook eisen worden gesteld aan het gebruik van gerecycled materialen bij de productie van energietransitieproducten

Minimumvereisten voor recycklaat zijn voor dit doel een veelbelovende aanvulling op UPV. Zo lijkt er als gevolg van de Batterijenverordening, die recycklaatvereisten voor batterijen oplegt, in de EU een stijgende vraag te zijn naar zeer zuivere metaalzouten, wat de technologische vooruitgang op het gebied van recycling stimuleert (Beaudet et al. 2020; Wagner-Wenz et al. 2022). Dit illustreert het belang van het combineren van UPV-regelgeving met vereisten op het gebied van eco-design om een actieve markt voor gerecyclede materialen te garanderen. Daarom zouden bijvoorbeeld minimumvereisten voor gerecycled silicium in nieuwe zonnepanelen en gerecyclede composieten in windmolenbladen nuttig zijn.

Om het UPV-beleid relevant en effectief te houden, is het belangrijk dat het aanpasbaar is aan veranderingen in de productsamenstelling als gevolg van technologische vooruitgang

Daarbij is het ook van belang een goed oog te houden op technologische ontwikkeling en hoe deze doorwerkt naar de verschillende markten. Alternatieve technologieën voor siliciumcellen in zonnepanelen zijn bijvoorbeeld cadmium-telluride-, gallium-arsenide- en perovskietzonnecellen (International Energy Agency 2023). Als deze of andere alternatieve technologieën in de toekomst de overhand krijgen, verandert daarmee de vraag naar materialen die nodig zijn voor zonnepanelen en mogelijk dus ook voor de inrichting van de UPV. Een dergelijke ontwikkeling zou bijvoorbeeld de invoering van terugwinningsdoelstellingen voor andere materialen kunnen vereisen.

Door het digitaal productpaspoort te koppelen aan UPV vereisten kan recycling beter worden gefaciliteerd

Demontage is een van de eerste fasen van elk recyclingproces. Voor een veilige en efficiënte demontage is informatie nodig over de productsamenstelling en de locatie van de componenten, die aanzienlijk kan variëren tussen fabrikanten. Het is daarom van belang dat ook deze informatie wordt opgeslagen in het digitaal productpaspoort. Daarmee is deze ook aan het einde van de levensduur van het product toegankelijk voor recyclers (bijvoorbeeld via een QR-code) en kunnen zij sneller en veiliger demonteren en het recyclingproces ingaan. Het paspoort kan ook informatie bevatten over de recycleerbaarheid van elk materiaal dat in het product wordt gebruikt. Deze informatie kan digitaal worden geüpdatet zodra er nieuwe recyclingopties beschikbaar komen.

Zorg voor gelijk speelveld en faciliteer handhaving

De lange levensduur van de onderzochte producten vereist aandacht om op de lange termijn een gelijk speelveld tussen marktpartijen te garanderen

Het is belangrijk dat eisen die gesteld worden aan marktpartijen voor iedereen gelijkwaardig van toepassing zijn. Een probleem is bijvoorbeeld nu dat niet alle producenten een gelijk speelveld hebben in het geval van de door ons onderzochte technologieën. Terwijl zonnepanelen onder de huidige AVV voor AEEA vallen, bestaan er nog geen AVV's voor EV-batterijen of windmolens. Hierdoor hoeven bijvoorbeeld sommige importeurs van elektrische auto's momenteel niet te bijdragen aan het collectieve systeem van inzameling en recycling van EV-batterijen. In plaats daarvan moeten ze

individueel voldoen aan de UPV-vereisten. Hoewel alle producenten aan dezelfde vereisten moeten voldoen, impliceert de lange levensduur van de onderzochte producten een risico dat een producent die niet deelneemt aan een collectief systeem uit de markt verdwijnt voordat zijn producten zijn afgedankt. Als er door die producent onvoldoende fondsen zijn gereserveerd om de kosten van de inzameling en verwerking van zijn afgedankte producten te dekken, dan moeten deze kosten door anderen worden betaald. Dit impliceert een ongelijk speelveld tussen producenten die voldoende fondsen reserveren voor de inzameling en verwerking van afgedankte producten en producenten die niet genoeg fondsen reserveren.

AVV's op EV-batterijen en windmolens zouden kunnen bijdragen aan een gelijk speelveld tussen producenten en zorgen voor stabiele financiering voor recycling en materiaalherwinning

Een AVV is een effectief instrument om meelifgedrag te voorkomen, omdat financiële bijdragen daarmee juridisch bindend worden verklaard voor alle producenten. Zo zou een AVV voor EV-batterijen ervoor zorgen dat alle importeurs hun aandeel betalen voor de inzameling en recycling daarvan. Een AVV voor windmolens betekent in feite de introductie van vrijwillige UPV voor dit product. Dat schept ook mogelijkheden voor de financiering van de terugwinning van kritieke grondstoffen in windturbinegeneratoren en de hoogwaardige recycling van windmolenbladen.

Het is belangrijk dat er een einde komt aan praktijken die de UPV voor batterijen ondermijnen en de veiligheid in gevaar brengen

Hergebruik of tweede gebruik van EV-batterijen kent de nodige risico's, onder meer op brand. Het ontmantelen van EV-batterijen uit elektrische auto's vereist daarom de nodige gecertificeerde technische kennis. Het is daarom belangrijk dat er duidelijke regels komen die het niet-gecertificeerd verwijderen en transformeren van EV-batterijen verbieden en bepalen dat de UPV berust bij de partij die de batterij voor stationaire toepassingen aanbiedt.

Bij zonneparken en windparken is eenduidigheid nodig over wie in UPV-verband de producent is

Bij zonne- en windparken is het niet altijd duidelijk wie de 'producent' is die de UPV zou moeten dragen. Soms is het een energiebedrijf, soms een gemeente en soms een andere eigenaar. Het is van groot belang dat de partij die UPV draagt, vóór de installatie van het park wordt geïdentificeerd en in staat is om de financiële verantwoordelijkheden die bij UPV horen te vervullen. Ook dient deze verantwoordelijkheid geborgd te blijven indien deze parken bijvoorbeeld van eigenaar verwisselen. Onderzocht zou kunnen worden of dit momenteel wel voldoende het geval voor zonneparken is.

De consolidatie van PVO's versterkt hun onderhandelingspositie met producenten, maar brengt ook uitdagingen in de handhaving teweeg voor de overheid

Zoals eerder aangegeven is het van belang dat PVO's een voldoende sterke machtspositie hebben ten opzichte van de producenten. Mede daarom is er in Nederland een ontwikkeling gaande van consolidatie van PVO's. Zoals eerder aangegeven heeft dit ook een voordeel voor het toezicht door de ILT, omdat de collectieve naleving van alle producenten kan worden gecontroleerd door slechts één organisatie te monitoren. Maar deze consolidatie van PVO's veroorzaakt ook problemen voor de handhaving. Zo impliceert de afwezigheid van PVO-concurrenten het ontbreken van een benchmark om de door de PVO gerapporteerde prestaties op waarde te schatten. Ook heeft de ILT hierdoor minder mogelijkheden om af te dwingen dat de producenten en importeurs 'achter de PVO' zich aan het beleid houden. Ook kan bij in gebreke blijven van de PVO de ILT niet dreigen met een tijdelijke stopzetting van de activiteiten: er is immers geen alternatief voor de PVO in kwestie.

Ook digitale productpaspoorten verbeteren de handhaving, door track-and-trace van producten

Voor een goede handhaving van het UPV-beleid is het van groot belang om producten te kunnen volgen vanaf de introductie op de markt tot aan de afdanking ervan. Dit helpt de handhaver om onafhankelijk productstromen te monitoren en te controleren of de door producenten en PVO's gerapporteerde prestaties kloppen.

Het ontwikkelen van een gelijk speelveld vraagt om een Europese aanpak

Een gelijk speelveld hangt niet alleen af van homogenisering binnen Nederland, maar ook van afstemming in wetgeving met landen binnen en buiten de EU. Zoals in hoofdstuk 2 aangegeven, valt een product onder het UPV-systeem van het EU-land waar het product verkocht is. Rekening houdend met import en export binnen de EU dienen de UPV-systemen binnen de EU daarom zo veel mogelijk gelijk getrokken worden. Afstemming tussen 27 verschillende implementaties van UPV voor een product is echter ingewikkeld en de stromen van gebruikte producten binnen de interne markt worden onvoldoende gemonitord om de uitvoering van UPV op gebruikte producten in bestemmingslanden te vergemakkelijken. Dergelijke afstemmingsuitdagingen zouden kunnen worden overwonnen door een EU-brede uitvoering van UPV.

Verken de mogelijkheden die een EU-breed UPV-systeem biedt

Een EU-brede uitvoering van UPV zou ervoor zorgen dat UPV ligt bij de partij die het product als eerste op de EU-markt brengt. Vooral voor de energietransitieproducten, die veelal van buiten de EU worden geïmporteerd, zou een EU-breed systeem de administratieve kosten kunnen verlagen, een gelijk speelveld tussen Europese bedrijven kunnen bevorderen en ervoor kunnen zorgen dat de financiële verantwoordelijkheid voor de afvalfase van een product niet wordt verdoezeld door intra-EU-handel. Verder onderzoek naar de mogelijkheden die een EU-breed UPV-systeem voor een van de drie hier onderzochte energietransitieproducten biedt zou wenselijk zijn.

Literatuur

- Abdelbaky, M., Peeters, J. R., & Dewulf, W. (2021). On the influence of second use, future battery technologies, and battery lifetime on the maximum recycled content of future electric vehicle batteries in Europe. *Waste Management*, 125, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.032>.
- ARN (zonder datum). <https://arn.nl/een-second-life-voor-oude-ev-accus/>. Geraadpleegd op 10-08-2024.
- ARN (2021). 2020 Sustainability Report. <https://duurzaamheidsverslag2020.arn.nl/en/2020-sustainability-report/>
- ARN (2024). Ruime verdubbeling van inzameling. 263.373 kg autobatterijen verwerkt. <https://duurzaamheidsverslag2023.arn.nl/263-373-kg-autobatterijen-gerecycled>. Geraadpleegd op 05-12-2024.
- ARN (2017-2024). Duurzaamheidsverslagen van jaren 2016-2023. Auto Recycling Nederland. <https://arn.nl/duurzaamheidsverslagen>.
- Beaudet, A., Larouche, F., Amouzegar, K., Bouchard, P., & Zaghbi, K. (2020). Key Challenges and Opportunities for Recycling Electric Vehicle Battery Materials. *Sustainability*, 12(14), 5837.
- Bobba, S., Carrara, S., Huisman, J., Mathieux, F., Pavel, C (2020). Critical materials for strategic technologies and sectors in the EU - a foresight study. Luxembourg: European Commission.
- Bos, R. (2023). Staat ons een afvalberg te wachten van zonnepanelen en windturbines? <https://www.dekleurvangel.nl/artikelen/2023/staat-ons-een-enorme-afvalberg-te-wachten-van-zonnepanelen-en-windturbines>. Geraadpleegd op 18-09-2024.
- Besluit regeling voor uitgebreide producentenverantwoordelijkheid (2020), Besluit regeling voor uitgebreide producentenverantwoordelijkheid. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0044197>. Geraadpleegd op 06-10-2023. Geldend van 09-11-2020 t/m heden.
- CBS (2023a). Aandeel hernieuwbare energie in 2022 toegenomen naar 15 procent. <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2023/22/aandeel-hernieuwbare-energie-in-2022-toegenomen-naar-15-procent>. Geraadpleegd op 05-12-2024.
- CBS (2023b). 46 procent meer energieproductie uit zonnestroom in 2022 <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2023/24/46-procent-meer-energieproductie-uit-zonnestroom-in-2022>. Geraadpleegd op 05-12-2024.
- CBS (2024). Hernieuwbare elektriciteit; productie en vermogen. <https://open-data.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/82610NED/table?ts=1712580613822>. Geraadpleegd op 10-05-2024.
- CLO (2023). Windturbines op land en op zee, 1990-2022. <https://www.clo.nl/indicatoren/nl147510-windturbines-op-land-en-op-zee-1990-2022>. Geraadpleegd op 10-05-2024.
- de Koning, A., R. Elzinga, R. Balkenende, F. van Heusden & R. Kleijn (2024), Productgroepanalyse hernieuwbare energietechnologie Werkpakket 6: Aangrijpingspunten voor beleid. Universiteit Utrecht, TU Delft, RIVM & Universiteit Leiden. Leiden: CML-rapport 206.
- Dimitropoulos, A., Tijm, J., & in 't Veld, D. (2021). Extended producer responsibility: Design, functioning and effects. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency and CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis, The Hague.

- Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council of 6 September 2006 on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC, Official Journal of the European Union (2006).
- ElaadNL (2024). ElaadNL Interactieve Outlook. Groeiscenario's heel Nederland. <https://platform.elaad.io/interactieve-outlook>. Geraadpleegd op 10-09-2024.
- Europees Parlement & Raad van de Europese Unie (2008): Richtlijn 2008/98/EG van het Europees Parlement en de Raad van 19 november 2008 betreffende afvalstoffen en tot intrekking van een aantal richtlijnen. Geconsolideerde versie van 05/07/2018, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008L0098-20180705>.
- Europees Parlement & Raad van de Europese Unie (2018): Richtlijn 2018/851 van het Europees Parlement en de Raad van 30 mei 2018 tot wijziging van Richtlijn 2008/98/EG betreffende afvalstoffen. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0851>
- Graulich, K., Bulach, W., Betz, J., Dolega, P., Hermann, C., Bilsen, V., Bley, F., Watkins, E., & Stainforth, T. (2021). Emerging waste streams - Challenges and Opportunities. www.oeko.de
- Grootenhuis, G., Dimitropoulos, A., & in 't Veld, D. (2024): Extended producer responsibility for energy transition technologies: electric vehicle batteries, solar photovoltaic panels and wind turbines under the spotlight. The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Hanemaaijer, A., Kishna, M., Koch, J., Lucas, P., Rood, T., Schoten, K., & van Sluisveld, M. (2023). Integrale Circulaire Economie Rapportage 2023. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving. <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2023-icer-2023-4882.pdf>
- International Energy Agency (2023). Energy Technology Perspectives 2023. www.iea.org
- Huisman, J., Pavel, C., Mathieux, F., Bobba, S., & Carrara, S. (2020). Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU - A Foresight Study <https://doi.org/10.2873/865242>
- Lijzen, J.P.A., Heens, F., Dekker, E., van Bodegraven, M., & Hof, M. (2024). Recycling of solar panels: Comparison of scenarios for a more circular and safe product chain. Bilthoven: RIVM <https://www.rivm.nl/en/bibcite/reference/368811>.
- Lucas, P.L., Brink, H. and Van Oorschot, M. (2022), Addressing international impacts of the Dutch circular economy transition. Challenges and opportunities for low- and middle-income countries. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague.
- Majewski, P., Florin, N., Jit, J., & Stewart, R. A. (2022). End-of-life policy considerations for wind turbine blades. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 164.
- Martinez-Marquez, D., Florin, N., Hall, W., Majewski, P., Wang, H., & Stewart, R. A. (2022). State-of-the-art review of product stewardship strategies for large composite wind turbine blades. *Resources, Conservation and Recycling Advances*, 15.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2023). Nationaal Programma Circulaire Economie 2023- 2030. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- Mishnaevsky, L. (2021). Sustainable end-of-life management of wind turbine blades: Overview of current and coming solutions. *Materials*, 14, 5, p. 1–26.
- Nationale (W)EEE Register (2022). Rapportage overheid 2021. <https://nationaalweeeregister.nl/app/uploads/2023/02/NWR-20220627-Rapportage-2021.pdf>.
- Nationale (W)EEE Register (2023). Rapportage overheid 2022. <https://nationaalweeeregister.nl/app/uploads/2023/06/NWR-20230629-Rapportage-2022.pdf>.
- Nationale (W)EEE Register (2024). Rapportage overheid 2023. https://nationaalweeeregister.nl/app/uploads/2024/06/Rapportage-2023-NWR_20240625.pdf.

- Netbeheer Nederland (2023) Het energiesysteem van de toekomst: de II3050-scenario's; Integrale energiesysteemverkenning 2030-2050. Netbeheer Nederland.
- Onstad, E. (2024). Recycling to kick in as long-term solution to EU rare earths challenge. <https://www.reuters.com/markets/commodities/recycling-kick-long-term-solution-eu-rare-earths-challenge-2024-06-27/>
- PBL (2024). Trajectverkenning Klimaatneutraal 2050: Trajecten naar een klimaatneutrale samenleving voor Nederland in 2050. <https://www.pbl.nl/publicaties/trajectverkenning-klimaatneutraal-2050>
- Recycling Nederland 2023. Recycling windturbinebladen komt eraan. <https://recyclingnederland.nl/artikelen/recycling-windturbinebladen-komt-eraan>. Geraadpleegd op 18-09-2024.
- RVO (2024). Elektrische personenauto's in Nederland. <https://duurzamemobiliteit.databank.nl/mosaic/nl-nl/elektrisch-vervoer/personenauto-s>. Geraadpleegd op 10-09-2024.
- Späth, M., Wieclawska, S., Sommeling, P., & Lenzmann, F. (2022). Balancing costs and revenues for recycling end-of-life PV panels in the Netherlands.
- Sungevity (2023). Gewicht afhankelijk van type zonnepaneel dat je kiest. <https://www.sungevity.nl/zonnepanelen/gewicht/>. Geraadpleegd op 10-09-2024.
- Tao, M., Fthenakis, V., Ebin, B., Steenari, B. M., Butler, E., Sinha, P., Corkish, R., Wambach, K., & Simon, E. S. (2020). Major challenges and opportunities in silicon solar module recycling. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 28(10), 1077–1088.
- Tijm, J., A. Dimitropoulos and D. in 't Veld (2021), Extended producer responsibility: Case studies on batteries, end-of-life vehicles and medicine in the Netherlands. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency and CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis, The Hague.
- UN Environment Programme & International Resource Panel. (2024). Global Resources Outlook 2024: Bend the Trend – Pathways to a liveable planet as resource use spikes. <https://www.unep.org/resources/Global-Resource-Outlook-2024>
- van der Meulen, T. H., Bastein, T., Swamy, S. K., Saraswati, N., & Joustra, J. (2020). Offshore wind farm decommissioning – An orientation of possible economic activity in the South Holland Region and the Rotterdam Port Area.
- Wade, A., Sinha, P., Drozdiak, K., & Brusch, E. (2017). Beyond Waste – The Fate of End-of-life Photovoltaic Panels From Large Scale PV Installations in the EU.
- Wagner-Wenz, R., van Zuilichem, A. J., Göllner-Völker, L., Berberich, K., Weidenkaff, A. & Schebek, L. (2022). Recycling routes of lithium-ion batteries: A critical review of the development status, the process performance, and life-cycle environmental impacts. In *MRS Energy and Sustainability*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1557/s43581-022-00053-9>.
- Warringa, G., Bachaus, A., Bergsma, G., Bouwman, P., en Odenhoven N. (CE Delft), Ahsman, N., en Sengers, J. (KplusV), Heideveld, A. (Groene Brein) (2024a), Effectbeoordeling Nationale Programma Circulaire Economie - Effecten van een geselecteerd aantal beleidsmaatregelen, CE Delft publicatienummer: 24.230253.061, Delft.
- WEEE Nederland (2024). Gebruikte zonnepanelen recycelen. <https://www.weee.nl/case/gebruikte-zonnepanelen-recyclen>. Geraadpleegd op 11-12-2024.
- Wet milieubeheer (2023). Wet milieubeheer. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0003245>. Geraadpleegd op 06-10-2023. Geldend van 01-07-2023 t/m heden.
- WindStats (2024). Gegevens. <https://windstats.nl/statistieken>. Geraadpleegd op 18-09-2024.