



Brussel, 15.11.2022
COM(2022) 643 final

**VERSLAG VAN DE COMMISSIE AAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE
RAAD**

**Vooruitgang op het gebied van het concurrentievermogen van schone-
energietechnologieën**

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	1
2.	Algemeen concurrentievermogen van de EU-sector voor schone energie	3
2.1	Achtergrond: recente ontwikkelingen	3
2.1.1	<i>Energieprijzen en -kosten: recente ontwikkelingen</i>	3
2.1.1	<i>Mondiale toeleveringsketens voor hulpbronnen en materialen: kwetsbaarheden en verstoringen</i>	6
2.1.2	<i>Gevolgen van COVID-19 en het herstel ervan</i>	8
2.1.3	<i>Menselijk kapitaal en vaardigheden</i>	10
2.2	Trends op het gebied van onderzoek en innovatie	13
2.3	Het mondiale concurrentieklimaat op het gebied van schone energie	16
2.4	Het financieringslandschap voor innovatie in de EU	18
2.5	De gevolgen van systemische verandering	22
3.	Focus op belangrijke schone-energietechnologieën en -oplossingen	23
3.1.	Fotovoltaïsche zonne-energie	24
3.2.	Offshore- en onshore-windenergie	26
3.3.	Warmtepompen voor toepassingen in gebouwen	28
3.4.	Batterijen	30
3.5.	Productie van hernieuwbare waterstof door water elektrolyse	33
3.6.	Hernieuwbare brandstoffen	35
3.7.	Slimme technologieën voor energiebeheer	38
3.8.	Belangrijkste bevindingen in verband met andere schone-energietechnologieën	41
4.	Conclusie.....	44
BIJLAGE I: Methodologisch kader voor de beoordeling van het concurrentievermogen van de EU		47

1. INLEIDING

De niet-uitgelokte en ongerechtvaardigde militaire agressie van Rusland tegen Oekraïne heeft het energiesysteem van de wereld ernstig verstoord. Hieruit is gebleken dat de EU te sterk afhankelijk is van Russische fossiele brandstoffen en is duidelijk geworden dat de veerkracht van het energiesysteem van de EU, die al zwaar op de proef was gesteld door de COVID-19-crisis¹, moet worden versterkt. Door de historisch hoge energieprijzen en het risico van tekorten in de energievoorziening in de EU is de noodzaak nog groter geworden om de dubbele groene en digitale transitie in het kader van de Europese Green Deal² te versnellen en te zorgen voor een veiliger, betaalbaarder, veerkrachtiger en onafhankelijker energiesysteem.

Het jaar 2022 werd gekenmerkt door het REPowerEU-plan³, een cruciaal onderdeel van de beleidsrespons van de EU op de ongekende crisis. Het plan is een routekaart om de afhankelijkheid van de EU van de invoer van energie uit Rusland zo snel mogelijk af te bouwen door middel van maatregelen op het gebied van energiebesparing, diversificatie van de energievoorziening, en de versnelde uitrol van hernieuwbare energie.

Voort heeft de Commissie met de mededeling “Gas besparen voor een veilige winter”⁴ een plan voorgesteld om het gasgebruik in de EU tegen volgend voorjaar met 15 % te verminderen. De Raad heeft twee verordeningen vastgesteld over respectievelijk gasopslag en gecoördineerde maatregelen ter reductie van de gasvraag⁵. In september 2022 is de Raad akkoord gegaan met het voorstel van de Commissie voor een “Verordening betreffende een noodinterventie in verband met de hoge energieprijzen”⁶ om de gevolgen van de energieprijzen voor de consumenten in de EU te verzachten en tegelijkertijd de ongekende instabiliteit en onzekerheid op de Europese en mondiale energiemarkten aan te pakken. Deze interventie omvat met name een vermindering van het elektriciteitsverbruik, een inkomstenplafond voor inframarginale elektriciteitsopwekking en een tijdelijke, verplichte solidariteitsbijdrage van bedrijven die actief zijn op het gebied van fossiele brandstoffen.

Om de REPowerEU-doelstellingen te verwezenlijken, zal tussen nu en 2027 een aanvullende cumulatieve investering van 210 miljard EUR nodig zijn, bovenop de investeringen die reeds nodig zijn om tegen 2050 klimaatneutraliteit te bereiken⁷. Deze investering zal de grootschalige opschaling en bespoediging van de uitrol van schone-energie technologieën (bv. zonne-energie, windenergie, warmtepompen, energiebesparende technologieën, biomethaan en hernieuwbare waterstof) ondersteunen, wat van cruciaal belang is om de dubbele noodtoestand op het gebied van energie en het klimaat het hoofd te bieden. Om de daarmee verband houdende

¹ COM(2021) 952 final en SWD(2021) 307 final (“Vooruitgang op het gebied van het concurrentievermogen van schone-energie technologieën”).

² COM(2019) 640 final (“De Europese Green Deal”).

³ COM(2022) 230 final (“REPowerEU Plan”).

⁴ COM(2022) 360 final (“Gas besparen voor een veilige winter”).

⁵ PB L 173 van 30.6.2022. Verordening (EU) 2022/1032 van het Europees Parlement en de Raad van 29 juni 2022 tot wijziging van Verordeningen (EU) 2017/1938 en (EG) nr. 715/2009 wat betreft gasopslag; PB L 206 van 8.8.2022. Verordening (EU) 2022/1369 van de Raad van 5 augustus 2022 inzake gecoördineerde maatregelen ter reductie van de gasvraag.

⁶ COM(2022) 473 final (“Voorstel voor een verordening van de Raad betreffende een noodinterventie in verband met de hoge energieprijzen”).

⁷ COM(2021) 557 final (“Wijziging van Richtlijn 2018/2001, Verordening 2018/1999 en Richtlijn 98/70/EG wat de bevordering van energie uit hernieuwbare bronnen betreft”).

technologische en niet-technologische uitdagingen aan te gaan, zal ook een sterke en concurrerende EU-sector voor schone energie nodig zijn.

In het REPowerEU-plan is de toezegging bevestigd om de langetermijndoelstelling van de Europese Green Deal om de EU tegen 2050 klimaatneutraal te maken, te verwezenlijken en het in juli 2021 gepresenteerde “Fit for 55”-pakket⁸ volledig uit te voeren. Om de doelstellingen van de Europese Green Deal te verwezenlijken, moet de EU innovatieve oplossingen op het gebied van energie-efficiëntie en hernieuwbare energie ontwikkelen, uitvoeren en opschalen. Voor de helft van de tegen 2050 verwachte vermindering van de uitstoot van broeikasgassen zullen technologieën nodig zijn die nog niet marktrijp zijn⁹, zodat activiteiten op het gebied van onderzoek en innovatie (O&I) een cruciaal onderdeel zijn om de technologische soevereiniteit en het mondiale concurrentievermogen van de EU te vergroten.

In dit kader, en in overeenstemming met eerdere edities, wordt in dit derde jaarlijkse voortgangsverslag¹⁰ de huidige en verwachte stand van zaken met betrekking tot verschillende schone en koolstofarme energietechnologieën en -oplossingen gepresenteerd¹¹. Ook worden hierin de aspecten inzake onderzoek, innovatie en mededinging van het EU-systeem voor schone energie in zijn geheel in kaart gebracht¹².

De editie van 2021 was belangrijk voor de beoordeling van het economisch herstel na COVID-19, omdat daarin werd benadrukt hoe verbeteringen van het concurrentievermogen de economische en sociale gevolgen van de pandemie op korte en middellange termijn kunnen verzachten.

In het verslag van dit jaar moet rekening worden gehouden met de oproep van de EU om schone-energietechnologieën sneller uit te rollen, en met de gevolgen van de energiecrisis voor de sector. Tegen deze achtergrond verschaft het verslag, op basis van beschikbare gegevens, inzicht in manieren om het concurrentievermogen van de EU in strategische energiewaardeketens te versterken en tegelijkertijd de penetratie van de schone-energietechnologieën in de EU te vergroten. Tegelijkertijd duiden de voortdurende en snel veranderende geopolitieke ontwikkelingen op het gebied van energie en klimaat erop dat de meest actuele kwantitatieve gegevens de ongekende situatie niet altijd adequaat kunnen weergeven. Daarom is dit verslag gericht op de vooruitgang die tot eind 2021 is geboekt, op basis van de tot dan beschikbare geconsolideerde gegevens. Recentere gegevens zijn

⁸ COM(2021) 550 final (“Fit for 55”: het EU-klimaatstreefdoel voor 2030 bereiken op weg naar klimaatneutraliteit”).

⁹ Europese Commissie, directoraat-generaal Onderzoek en innovatie, “Research and innovation to REPower the EU”, Bureau voor publicaties van de Europese Unie, Luxemburg, 2022, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/74947>

¹⁰ Verslag van de Commissie aan het Europees Parlement en de Raad “Vooruitgang op het gebied van het concurrentievermogen van schone-energietechnologieën” (eerste editie: COM(2020) 953 final; tweede editie: COM(2021) 952 final).

¹¹ Het gaat hierbij onder meer om: zonne-energie, offshore- en onshore-windenergie, warmtepompen voor toepassingen in gebouwen, batterijen, productie van hernieuwbare waterstof door middel van water elektrolyse, hernieuwbare brandstoffen, slimme technologieën voor energiebeheer, waterkracht, oceanenergie, aardwarmte, koolstofafvang, -gebruik en -opslag (*Carbon Capture Utilisation and Storage* — CCUS), bio-energie, geconcentreerde zonne-energie (*Concentrated Solar Power* — CSP) en warmte, kernenergie.

¹² In dit verslag bestrijkt het schone-energiesysteem drie marktsegmenten:

- 1) hernieuwbare energie, met inbegrip van productie, installatie en opwekking;
- 2) energie-efficiëntie en -beheersystemen die technologieën en activiteiten omvatten zoals slimme meters, slimme netten, opslag en renovatie van gebouwen; en
- 3) elektrische mobiliteit, waaronder onderdelen zoals batterijen en brandstofcellen die essentieel zijn voor elektrische voertuigen en oplaadinfrastructuur.

aangegeven wanneer deze beschikbaar en betrouwbaar waren. Deze gegevens zijn echter schaars en kunnen daarom nog geen goed beeld geven van de gevolgen van de huidige energiecrisis voor het concurrentievermogen van schone-energie technologieën. Waar mogelijk en om rekening te houden met de recente uitdagingen waarmee de sector schone energie wordt geconfronteerd en de gevolgen daarvan voor de sector, wordt met de analyse voortgebouwd op de reeds zichtbare gevolgen en kwalitatieve beoordelingen voor het jaar 2022; het volledige effect kan echter pas in het voortgangsverslag van volgend jaar worden beoordeeld.

Concurrentievermogen is een complex en veelzijdig concept dat niet met één enkele indicator kan worden gedefinieerd¹³. In dit verslag wordt het concurrentievermogen van het schone-energiesysteem van de EU daarom als geheel (deel 2) en van specifieke schone-energie technologieën en -oplossingen (deel 3) beoordeeld aan de hand van een analyse van een welomschreven reeks indicatoren (bijlage I). Vanaf dit jaar zal het waarnemingscentrum voor schone-energie technologie (Clean Energy Technology Observatory — CETO) van de Commissie de diepgaande, empirisch onderbouwde analyse uitvoeren die aan dit verslag ten grondslag ligt¹⁴.

Dit verslag wordt gepubliceerd overeenkomstig artikel 35, lid 1, punt m), van de verordening inzake de governance van de energie-unie en van de klimaatactie¹⁵ en vergezelt het verslag over de stand van de energie-unie¹⁶.

2. ALGEMEEN CONCURRENTIEVERMOGEN VAN DE EU-SECTOR VOOR SCHONE ENERGIE

2.1 Achtergrond: recente ontwikkelingen

2.1.1 Energieprijzen en -kosten: recente ontwikkelingen

Zoals vermeld in eerdere voortgangsverslagen over het concurrentievermogen waren de industriële elektriciteits- en gasprijzen in de EU de afgelopen tien jaar hoger dan in de meeste G20-landen buiten de EU. De ongerechtvaardigde en niet-uitgelokte Russische invasie van Oekraïne heeft geleid tot een verdere stijging van de reeds in 2021 historisch hoge prijzen in de EU en vele andere regio's in de wereld. De groothandelsprijzen voor gas in Europa lagen in het eerste kwartaal van 2022 vijf keer hoger dan een jaar eerder en bereikten in augustus 2022 een historisch hoogtepunt, alvorens tot lagere niveaus te dalen. Omdat gascentrales vaak een prijszetter op de Europese markten zijn, heeft dit geleid tot een vergelijkbare trend voor de groothandelsprijzen voor elektriciteit¹⁷. Zij zijn ook van invloed geweest op de productiekosten in bepaalde sectoren, met name energie-intensieve bedrijfstakken. Ook de grondstoffenprijzen zijn gestegen. In het vijfde verslag over energieprijzen en -kosten¹⁸, dat eind 2022 zal worden goedgekeurd, zullen geactualiseerde kwantitatieve gegevens en analyses worden verstrekt.

¹³ Gebaseerd op de conclusies van de Raad Concurrentievermogen van 28 juli 2020.

¹⁴ https://setis.ec.europa.eu/publications/clean-energy-technology-observatory-ceto_en

¹⁵ PB L 328 van 21.12.2018. Verordening (EU) 2018/1999 van het Europees Parlement en de Raad van 11 december 2018 inzake de governance van de energie-unie en van de klimaatactie.

¹⁶ COM(2022) 547 final ("Stand van de energie-unie 2022").

¹⁷ Europese Commissie, directoraat-generaal Energie, waarnemingspost voor de energiemarkt, Quarterly Report on European gas markets, deel 15.

¹⁸ Vorige editie 2020: COM(2020) 951 final ("Energieprijzen en -kosten in Europa").

De EU en de lidstaten hebben sinds 2021 al verschillende maatregelen genomen om de gevolgen van de hoge energieprijzen te helpen verzachten¹⁹. Het voorstel van de Commissie voor een verordening betreffende een noodinterventie in verband met de hoge energieprijzen, zoals goedgekeurd door de Raad in september 2022, bevat instrumenten om het gebruik van gas voor het opwekken van elektriciteit in de winter met ongeveer 4 % te verminderen, met een neerwaartse druk op de prijzen tot gevolg, en er wordt voorgesteld om meer dan 140 miljard EUR op te halen zodat de lidstaten kunnen helpen de gevolgen van de hoge energieprijzen voor consumenten te verzachten²⁰.

Hoewel deze trend een wisselend effect blijft hebben op de waardeketen van schone-energietechnologieën, kan dit erop wijzen dat het concurrentievermogen van die technologieën verbetert, met name in vergelijking met niet-hernieuwbare alternatieven²¹. Zo is de opwekking van fotonvoltaïsche elektriciteit in steeds meer landen reeds de goedkoopste opwekkingsbron. Bij de productie van hernieuwbare waterstof door middel van water elektrolyse zijn de kosten van elektriciteit echter een van de belangrijkste factoren die van invloed zijn op de economische levensvatbaarheid van elektrolyse-installaties.

Figuur 1 geeft meer inzicht in de kosten van schone-energietechnologieën. Het laat een momentopname zien van de berekeningen van de genormaliseerde elektriciteitskosten (*levelised cost of electricity* — LCoE) voor het jaar 2021 voor een reeks representatieve omstandigheden²² in de hele EU. Uit de resultaten blijkt dat technologievloten met lage variabele kosten (met inbegrip van variabele operationele kosten en brandstofkosten) in 2021 in kostenopzicht zeer concurrerend waren. Deze bevinding gaat het meest op voor de opwekking van zonne- en windenergie met LCoE van 40 tot 60 EUR/MWh. Bovendien lijkt de vloot van gecombineerde stoom- en gasturbines (STEG) in 2021 gemiddeld concurrerender te zijn geweest dan op koolstof gebaseerde energieopwekking. In de eerste drie kwartalen van 2021 profiteerden gecombineerde stoom- en gasturbines van voorkeurslevering, terwijl de overschakeling op andere brandstoffen pas in het vierde kwartaal van 2021 van belang werd. Hierdoor waren in 2021 aanzienlijk hogere capaciteitsfactoren voor gecombineerde stoom- en gasturbines mogelijk²³. De stijging van de gasprijzen bleef de omschakeling van gas naar steenkool in het eerste kwartaal van 2022 ondersteunen, ondanks de stijging van de koolstofprijzen. Niettemin begonnen de hoge steenkoolprijzen aan het begin van het tweede kwartaal van 2022 de kloof te dichten en hebben recente aankondigingen van sommige lidstaten om tijdelijk meer gebruik te maken van steenkoolcentrales geleid tot de verwachting dat de steenkoolprijzen de komende maanden verder zullen stijgen.

¹⁹ Deze maatregelen omvatten de mededeling van de Commissie COM(2021) 660 final (“De stijgende energieprijzen aanpakken: een toolbox met initiatieven en steunmaatregelen”), en de mededeling van de Commissie COM(2022) 138 final (“Voorzieningszekerheid en betaalbare energieprijzen: opties voor onmiddellijke maatregelen en voorbereiding op de volgende winter”).

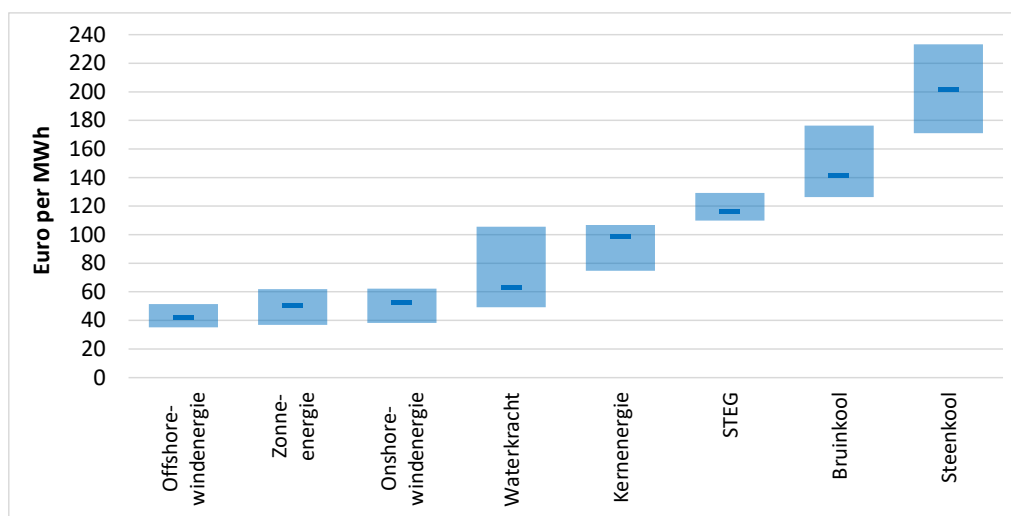
²⁰ COM(2022) 473 final (“Voorstel voor een verordening van de Raad betreffende een noodinterventie in verband met de hoge energieprijzen”).

²¹ Internationaal Agentschap voor hernieuwbare energie (Irena), [World Energy Transitions Outlook 2022: 1.5°C Pathway](#), Abu Dhabi.

²² Er worden gegevenspunten getoond voor het eerste tot en met derde interkwartielbereik om te filteren op uitbijters.

²³ De gemodelleerde capaciteitsfactoren zouden de werkelijke overschakeling op andere brandstoffen en dus de verschillen in capaciteitsfactoren tot op zekere hoogte kunnen overschatten (zie punt 2.1 in Kanellopoulos, K., De Felice, M., Busch, S. en Koolen, D., [Simulating the electricity price hike in 2021](#), JRC127862, EUR 30965 EN, Bureau voor publicaties van de Europese Unie, Luxemburg, 2022).

Figuur 1: Momentopname van de voor de technologievloot specifieke genormaliseerde elektriciteitskosten (LCoE) voor het jaar 2021. De lichtblauwe balken tonen een bereik in de EU-27. De dikke blauwe lijnen geven de mediaan aan.



Bron: Modelsimulatie METIS van het Gemeenschappelijk Centrum voor onderzoek, 2022²⁴

De zeer hoge energieprijzen hebben geleid tot enorme financiële winsten voor elektriciteitsproducenten met lagere marginale kosten (bv. producenten die actief zijn in de sectoren wind- en zonne-energie). De Commissie heeft daarom een verordening betreffende een noodinterventie in verband met de hoge energieprijzen²⁵ voorgesteld, waarover tijdens de buitengewone zitting van de Raad Energie van 30 september een politiek akkoord is bereikt. Deze verordening omvat de tijdelijke beperking en herverdeling van de inkomsten uit inframarginale technologieën om de problemen voor energieconsumenten en de samenleving in het algemeen te verlichten. Zij omvat tevens een verplichte tijdelijke solidariteitsbijdrage die van toepassing is op de winsten van ondernemingen die actief zijn in de sectoren ruwe aardolie, aardgas, steenkool en raffinaderijen, die aanzienlijk zijn gestegen ten opzichte van voorgaande jaren. De huidige crisis op het gebied van energie/fossiele brandstoffen is de meest recente gebeurtenis die duidelijk heeft gemaakt dat het paradigma moet worden gewijzigd om de stabiliteit in de toekomst te waarborgen.

In het REPowerEU-plan wordt opgeroepen tot een grootschalige opschaling en versnelling van hernieuwbare energie op het gebied van elektriciteitsopwekking, industrie, gebouwen en vervoer — niet alleen om de energieonafhankelijkheid van de EU te bespoedigen en een impuls te geven aan de groene transitie, maar ook om de elektriciteitsprijzen te verlagen en de invoer van fossiele brandstoffen mettertijd terug te dringen²⁶. De maatregelen omvatten het stimuleren van hernieuwbare energie, waarvoor een voor het beoogde doel geschikte elektriciteitsinfrastructuur nodig is. Om de REPowerEU-doelstellingen te verwezenlijken, moet de uitrol van hernieuwbare energie worden gecombineerd met maatregelen op het gebied van energiebesparing en energie-efficiëntie²⁷.

²⁴ JRC127862 Kanellopoulos, K., De Felice, M., Busch, S. en Koolen, D., Simulating the electricity price hike in 2021, EUR 30965 EN, Bureau voor publicaties van de Europese Unie, Luxemburg, 2022.

²⁵ COM(2022) 473 final (“Voorstel voor een verordening van de Raad betreffende een noodinterventie in verband met de hoge energieprijzen”).

²⁶ Zie deel 3, blz. 6 van COM(2022) 230 final (“REPowerEU Plan”).

²⁷ COM(2022) 360 final (“Gas besparen voor een veilige winter”).

2.1.1 Mondiale toeleveringsketens voor hulpbronnen en materialen: kwetsbaarheden en verstoringen

Naast bezorgdheid over de betrouwbaarheid van de bestaande toeleveringsketens, en in het bijzonder de levering van aardgas, hebben de COVID-19-pandemie en de huidige geopolitieke context geleid tot verstoringen in sommige mondiale toeleveringsketens van materialen en hulpbronnen, met gevolgen voor de sector schone energie. De EU is sterk afhankelijk van leveringen uit derde landen en de dubbele groene en digitale transitie zal worden aangewakkerd door de toegang tot grondstoffen. De recente trends in de mondiale toeleveringsketens van materialen en hulpbronnen hebben duidelijk gemaakt dat de veerkracht en de continuïteit van de energievoorziening in de EU dringend moeten worden versterkt door middel van onafhankelijkheid van materialen en hulpbronnen, en technologische soevereiniteit.

De beschikbaarheid van materialen en de veerkracht van toeleveringsketens zijn een voorwaarde voor de uitvoering van REPowerEU, omdat de toegenomen vraag naar schone technologieën hand in hand gaat met een grotere vraag naar hulpbronnen zoals metalen en mineralen. Technologieën die sterk afhankelijk zijn van ingevoerde grondstoffen, of onderdelen die deze materialen bevatten, zijn onder meer windenergie (permanente magneten, zeldzame aardmetalen), zonne-energie (zilver, germanium, gallium, indium, cadmium, metallisch silicium) en batterijen (kobalt, lithium, grafiet, mangaan, nikkel)²⁸. Het Internationaal Energieagentschap (IEA) voorspelt dat de totale wereldwijde vraag naar mineralen als gevolg van de aangekondigde uitrol van hernieuwbare energie tegen 2040 zal zijn verdubbeld of zelfs verviervoudigd²⁹.

De stijgende grondstofprijzen zijn van invloed op de kosten van schone-energietechnologieën. De prijzen van de grondstoffen die benodigd zijn voor deze technologieën, zoals lithium en kobalt, zijn in 2021 meer dan verdubbeld, terwijl die van koper en aluminium met ongeveer 25 % tot 40 % zijn gestegen³⁰. In datzelfde jaar werd de trend van het afgelopen decennium van kostenverlagingen voor windmolens en zonnepanelen omgebogen: ten opzichte van 2020 stegen de prijzen daarvan met respectievelijk 9 % en 16 %. Batterijpacks zullen in 2022 ten minste 15 % duurder zijn dan in 2021³¹.

Een nieuwe uitdaging bestaat erin te voorkomen dat de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen wordt ingeruild voor afhankelijkheid van ingevoerde grondstoffen en van technologische deskundigheid voor de verwerking ervan en voor de vervaardiging van onderdelen. Zo heeft China vrijwel een monopoliepositie op het gebied van de winning en verwerking van zeldzame aardmetalen die van cruciaal belang zijn voor schone-energietechnologieën, in combinatie met een sterke marktpositie binnen de desbetreffende productieketen.

Het probleem van de afhankelijkheid van hulpbronnen is driedelig. Ten eerste wordt de EU geconfronteerd met toenemende concurrentie om toegang tot kritieke grondstoffen, aangezien

²⁸ Europese Commissie, *Critical materials for strategic technologies and sectors in the EU - a foresight study*, 2020, <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42882>

²⁹ IEA, *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, herziene versie van mei 2022.

³⁰ Kim, T., *Critical minerals threaten a decades-long trend of cost declines for clean energy technologies*, website van het IEA, mei 2022.

³¹ IEA, *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, herziene versie van mei 2022.

andere landen hun eigen inspanningen opvoeren om hun capaciteit op te bouwen en hun uitvoer mogelijk beperken. De helft van de dertig door de EU opgesomde kritieke grondstoffen³² wordt ingevoerd in hoeveelheden van meer dan 80 % van het volume, wat vooral zorgwekkend is wanneer het aanbod in slechts enkele landen is geconcentreerd.

Ten tweede zullen alleen secundaire grondstoffen, ondanks de aanzienlijke vooruitgang die is geboekt op het gebied van de circulaire economie en recyclingpercentages (meer dan 50 % van bepaalde metalen³³ wordt nu gerecycled, wat overeenkomt met meer dan 25 % van het verbruik ervan³⁴), niet volstaan om aan de grote en nog steeds toenemende vraag te voldoen. Bovendien brengen secundaire grondstoffen extra uitdagingen met zich mee (bv. hogere recyclingkosten voor bepaalde materialen, technische haalbaarheid en de ontoereikende beschikbaarheid van assemblages aan het einde van de levensduur). De economische aspecten van recycling zullen echter verbeteren naarmate de kosten van gewonnen primaire grondstoffen en het volume van de beschikbare assemblages aan het einde van de levensduur toenemen. Secundaire grondstoffen zullen daarom na 2030 een belangrijke voorzieningsbron zijn, mits nu wordt begonnen met de noodzakelijke investeringen. Op recyclebaarheid gericht innovatief ontwerp is eveneens heel belangrijk.

Ten derde is er theoretisch potentieel om in 2030 in 5 tot 55 % van de behoeften van Europa te voorzien door grondstoffen uit Europese bodems te halen³⁵. Het bevorderen van de binnenlandse mijnbouwcapaciteit wordt echter belemmerd door lange vergunningsprocedures en milieuproblemen, onvoldoende raffinagecapaciteit en een gebrek aan geschoolde arbeidskrachten en deskundigheid. Het nieuwe voorstel voor een batterijenverordening³⁶ is een voorbeeld van een vlaggenschipinitiatief dat Europa zal helpen een voortrekkersrol te spelen in de circulaire economie van batterijen, te beginnen met duurzame mijnbouw en eindigend met recycling.

Schaarste aan hulpbronnen zoals land en water, of het nu gaat om de locatie van zonne-, wind- of bio-energie, of voor waterelektrolyse om hernieuwbare waterstof te produceren, kan de verdere uitrol van schone-energietechnologieën op het gewenste niveau in de EU belemmeren. Het faciliteren van meervoudig gebruik van de ruimte, zoals agro-PV (waarbij landbouw en de productie van zonne-energie worden gecombineerd) en het aanwijzen van locaties in de maritieme ruimtelijke ordening voor gelijktijdige activiteiten zoals visserij en hernieuwbare offshore-energie, kunnen helpen deze problemen op te lossen. Tegelijkertijd is het voor de lidstaten van het grootste belang om bij het ontwerpen van de energiemix rekening te houden met de beschikbaarheid van water.

Een doeltreffende aanpak van de afhankelijkheid van de EU van de invoer van de grondstoffen die benodigd zijn voor de productie van schone-energietechnologieën zal van cruciaal belang zijn om het concurrentievermogen van de sector in de toekomst te waarborgen (wat betreft

³² COM(2020) 474 final, “Veerkracht op het gebied van kritieke grondstoffen: de weg naar een grotere voorzieningszekerheid en duurzaamheid uitstippelen”.

³³ IJzer, zink of platina.

³⁴ Europese Commissie, directoraat-generaal Energie: Guevara Opinska, L., Gérard, F., Hoogland, O., e.a., Study on the resilience of critical supply chains for energy security and clean energy transition during and after the COVID-19 crisis: final report, Bureau voor publicaties van de Europese Unie, Luxemburg, 2021, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/946002>

³⁵ KU Leuven, Metals for Clean Energy: Pathways to solving Europe’s raw materials challenge, 2022.

³⁶ COM(2020) 798 final, (“Verordening van het Europees Parlement en de Raad inzake batterijen en afgedankte batterijen, tot intrekking van Richtlijn 2006/66/EG en tot wijziging van Verordening (EU) 2019/1020”).

kosten, technologische soevereiniteit en veerkracht) en de dubbele groene en digitale transitie tot stand te brengen. De Commissie heeft in 2020 een actieplan³⁷ bekendgemaakt om voorzieningsrisico's te verminderen. Dit omvatte acties om de bevoorrading buiten de EU te diversifiëren (bv. via strategische partnerschappen op het gebied van grondstoffen); het bevorderen van de circulaire economie (bv. door middel van ecologisch ontwerp, onderzoek en innovatie of het in kaart brengen van de beschikbaarheid van kritieke grondstoffen in de stedelijke mijnbouw of residuen); en het benutten van binnenlands potentieel (bv. met behulp van aardobservatietechnologie). Naast het verzekeren van de continuïteit van de voorziening moet de EU wellicht ook strategische reserves opbouwen wanneer de voorziening in gevaar is. De voorzitter van de Europese Commissie heeft daarom in haar toespraak over de Staat van de Unie van 14 september 2022 een Europese wet inzake kritieke grondstoffen aangekondigd.

2.1.2 *Gevolgen van COVID-19 en het herstel ervan*

Enerzijds vormde de gemengde economische impact van COVID-19 in 2020-2021 een grote bedreiging voor de sector schone energie in de EU.

Anderzijds is de sector hernieuwbare energie in de EU met een omzet van 163 miljard EUR in 2020 en een bruto toegevoegde waarde van 70 miljard EUR met respectievelijk 9 % en 8 % gegroeid ten opzichte van de cijfers van 2019. In totaal genereerde de sector ongeveer vier keer meer toegevoegde waarde per euro omzet³⁸ dan de fossielebrandstoffenindustrie, en bijna 70 % meer dan de totale be- en verwerkende industrie van de EU³⁹. Deze verhouding is in 2020 echter enigszins verslechterd, wat wijst op een toegenomen lekkage (bv. in de vorm van invoer).

In 2021 is de productie van de meeste schone-energietechnologieën en -oplossingen in de EU⁴⁰ sterk toegenomen, waarmee de trend van 2020 werd omgebogen. De productie van batterijen in de EU was in 2021 overvloedig, met een verviervoudiging van de productiewaarde ten opzichte van de waarden van 2020, aangezien er meer capaciteit online kwam. De productie van warmtepompen, windenergie en zonne-energie is in 2021 met 30 % toegenomen (voor warmtepompen was het een recordjaar; windenergie is teruggekeerd tot het niveau van vóór de pandemie; en zonne-energie heeft de sinds 2011 dalende trend omgebogen). De productie van biobrandstoffen, voornamelijk biodiesel, steeg met 40 % en nam in alle lidstaten sterk toe, terwijl de productie van bio-energie (bv. granulaat, zetmeelresidu en houtspaanders) met 5 % toenam. De waterstofproductie⁴¹ is met bijna 50 % gestegen, aangezien Nederland zijn productie in 2021 meer dan verdubbelde.

Niettemin kan de gelijktijdige prijsstijging die in 2021 begon een al te positief beeld van de productiegroei geven. Bovendien zijn sommige technologieën op grotere schaal ingevoerd om aan de groeiende vraag in de EU te voldoen. Zo vond in 2021 de grootste relatieve toename van het handelstekort van de EU op het gebied van warmtepompen plaats (390 miljoen EUR in 2021 tegenover 40 miljoen EUR in 2020, waarbij 2020 het eerste jaar was waarin het

³⁷ COM(2020) 474 final ("Veerkracht op het gebied van kritieke grondstoffen: de weg naar een grotere voorzieningszekerheid en duurzaamheid uitstippelen").

³⁸ De bruto toegevoegde waarde van de fossielebrandstoffenindustrie per euro omzet bedraagt minder dan 0,10 EUR (structurele bedrijfsstatistieken van Eurostat).

³⁹ De verhouding tussen de bruto toegevoegde waarde en de omzet voor de be- en verwerkende industrie (NACE C) in de EU is ongeveer 0,25 EUR (gegevens SBS_NA_IND_R2 van Eurostat).

⁴⁰ Dit heeft betrekking op de productiewaarde uitgedrukt in geld (EUR).

⁴¹ Dit omvat alle waterstof, ongeacht de productiemethode.

handelsoverschot van de EU omsloeg in een tekort), gevolgd door biobrandstoffen (2,3 miljard EUR in 2021; 1,4 miljard EUR in 2020) en zonnepanelen (9,2 miljard EUR in 2021; 6,1 miljard EUR in 2020). Niettemin kon de EU een positieve handelsbalans op het gebied van windenergietechnologie (2,6 miljard EUR in 2021; 2 miljard EUR in 2020) en waterkrachttechnologie handhaven, ondanks een dalende trend sinds 2015 (211 miljoen EUR in 2021; 232 miljoen EUR in 2020).

Het economisch herstelbeleid van de EU, zoals de herstel- en veerkrachtfaciliteit in het kader van NextGenerationEU⁴², is een belangrijke aanjager voor de heroriëntatie en bevordering van investeringen in de sector schone energie. In oktober 2022 hechtte de Raad haar goedkeuring aan⁴³ het voorstel van de Europese Commissie⁴⁴ om een specifiek hoofdstuk inzake REPowerEU aan de nationale herstel- en veerkrachtplannen van de lidstaten toe te voegen ter financiering van belangrijke investeringen en hervormingen die de REPowerEU-doelstellingen dichterbij zullen brengen⁴⁵.

De hervormingen en investeringen die de lidstaten in hun nationale herstel- en veerkrachtplannen hebben voorgesteld, hebben tot dusver de doelstellingen voor zowel de klimaatuitgaven als de digitale uitgaven overschreden (respectievelijk ten minste 37 % en 20 % van de uitgaven van de herstel- en veerkrachtplannen)⁴⁶. In de 26⁴⁷ nationale herstel- en veerkrachtplannen die de Commissie op 8 september 2022 heeft goedgekeurd zijn maatregelen ter waarde van ongeveer 200 miljard EUR toegewezen aan de klimaattransitie en van 128 miljard EUR aan de digitale transformatie⁴⁸, wat neerkomt op respectievelijk 40 % en 26 % van de totale toewijzing van deze lidstaten (subsidies en leningen).

⁴² COM(2020) 456 final (“Het moment van Europa: herstel en voorbereiding voor de volgende generatie”).

⁴³ <https://www.consilium.europa.eu/nl/press/press-releases/2022/10/04/repowereu-council-agrees-its-position/>

⁴⁴ COM(2022) 231 final, (“Voorstel voor een verordening van het Europees Parlement en de Raad tot wijziging van Verordening (EU) 2021/241 wat betreft REPowerEU-hoofdstukken in herstel- en veerkrachtplannen en tot wijziging van Verordening (EU) 2021/1060, Verordening (EU) 2021/2115, Richtlijn 2003/87/EG en Besluit (EU) 2015/1814”).

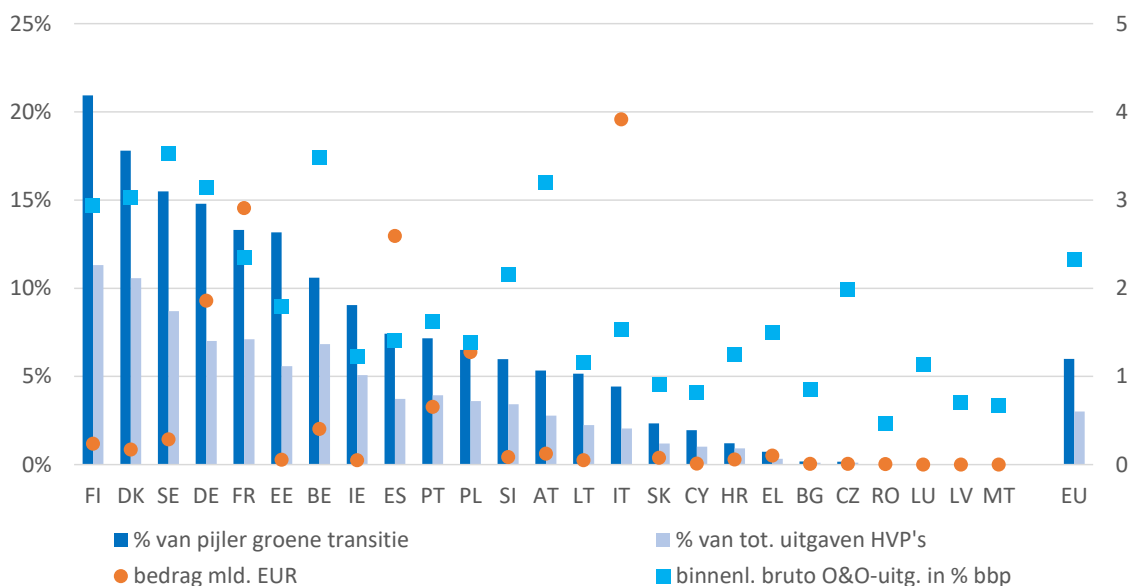
⁴⁵ Het voorstel omvat extraerschikkingen in de EU-begroting ter aanvulling van de nog beschikbare 225 miljard EUR aan leningen in het kader van de herstel- en veerkrachtfaciliteit en roept op tot een verhoging van de middelen voor de herstel- en veerkrachtfaciliteit. De Europese Commissie is bilaterale besprekingen met de lidstaten gestart om na te gaan welke hervormingen en investeringen mogelijk in aanmerking komen voor financiering in het kader van de nieuwe REPowerEU-hoofdstukken. De EU-financiering vormt een aanvulling op andere beschikbare openbare en particuliere financiering, die een sleutelrol zal vervullen bij het realiseren van de investeringen die nodig zijn voor REPowerEU.

⁴⁶ De vooruitgang bij de uitvoering van de herstel- en veerkrachtplannen kan live worden gevolgd op het scorebord voor herstel en veerkracht, een onlineplatform dat de Commissie in december 2021 heeft opgezet.

⁴⁷ AT, BE, BG, CY, CZ, DE, DK, EE, EL, ES, FI, FR, HR, IE, IT, LT, LU, LV, MT, NL PL, PT, RO, SE, SI, SK.

⁴⁸ In de herstel- en veerkrachtplannen moest worden gespecificeerd en gemotiveerd in welke mate elke maatregel volledig (100 %), gedeeltelijk (40 %) of helemaal niet (0 %) bijdraagt tot de klimaatdoelstelling. De bijdrage aan de klimaatdoelstelling is berekend aan de hand van bijlage VI bij de verordening inzake de herstel- en veerkrachtfaciliteit. Door de coëfficiënten te combineren met de kostenramingen voor elke maatregel, kan worden berekend in welke mate de plannen bijdragen aan de klimaatdoelstelling.

Figuur 2: Onderzoek, ontwikkeling en innovatie in groene activiteiten in de herstel- en veerkrachtplannen als aandeel (linkeras) en als absoluut bedrag (rechteras). Ter vergelijking wordt ook de O&O-intensiteit ten opzichte van het bbp (rechteras) gegeven.



Bron: JRC op basis van gegevens van DG ECFIN

De 25 nationale herstel- en veerkrachtplannen die de Raad op de 8 september 2022 heeft goedgekeurd omvatten maatregelen in verband met onderzoek en innovatie voor een totale begroting van 47 miljard EUR⁴⁹ (met inbegrip van zowel thematische als horizontale investeringen⁵⁰). Van dit bedrag is 14,9 miljard EUR toegewezen aan investeringen in onderzoek, ontwikkeling en innovatie (O&O&I) in groene activiteiten (Figuur 2).

2.1.3 Menselijk kapitaal en vaardigheden

Uit de meest recente gegevens over **menselijk kapitaal** in de wereld blijkt dat de sector schone energie tijdens de COVID-19-pandemie weliswaar veerkrachtig is geweest, maar dat tekortschietende vaardigheden en tekorten aan vaardigheden in 2021 zijn toegenomen en naar verwachting in 2022 zullen voortduren.

⁴⁹ De cijfers zijn gebaseerd op de methode van *pillar tagging* voor het scorebord voor herstel en veerkracht en komen overeen met de maatregelen die zijn toegewezen aan de beleidsterreinen “O&O&I in groene activiteiten”, “Digitale maatregelen op het gebied van O&O&I” en “O&O&I” als primaire of secundaire beleidsterreinen. De Raad heeft het Nederlandse herstel- en veerkrachtplan nog niet goedgekeurd en daarom zijn er nog geen gegevens beschikbaar in het kader van de methode van *pillar tagging*. Meer informatie over het scorebord voor herstel en veerkracht is te vinden op https://ec.europa.eu/economy_finance/recovery-and-resilience-scoreboard/

⁵⁰ Thematische investeringen in onderzoek en innovatie omvatten investeringen die zijn gericht op de groene transitie, digitale technologieën en gezondheid, terwijl horizontale investeringen in onderzoek en innovatie transversale maatregelen omvatten die bijvoorbeeld innovatie-ecosystemen versterken, de onderzoeksinfrastructuur verbeteren en innovatie in het bedrijfsleven ondersteunen. Meer informatie over het scorebord voor herstel en veerkracht is te vinden op: https://ec.europa.eu/economy_finance/recovery-and-resilience-scoreboard/

De werkgelegenheid in de bredere sector schone energie van de EU⁵¹ bedroeg 1,8 miljoen in 2019, met een gemiddelde jaarlijkse groei van 3 % sinds 2015⁵², en was goed voor 1 % van de totale werkgelegenheid in de EU. Ter vergelijking: de werkgelegenheid in de gehele economie groeide met gemiddeld 1 % per jaar⁵³, terwijl de werkgelegenheid in de fossiele-energiesector de afgelopen tien jaar met gemiddeld 2 % is gedaald⁵⁴. In 2020 nam China de eerste plaats in de wereld in (39 %), gevolgd door de EU (11 %)⁵⁵ in de wereldwijde werkgelegenheid in de sector “hernieuwbare energie”, die in totaal goed was voor 12 miljoen banen⁵⁶.

De samenstelling van de banen in de bredere sector schone energie van de EU is op verschillende manieren veranderd⁵⁷. De sector warmtepompen⁵⁸ neemt, als de grootste werkgever, de sectoren vaste biobrandstoffen⁵⁹ en windenergie over. Dit is voornamelijk toe te schrijven aan de toegenomen installatie van warmtepompen. Deze trend zal waarschijnlijk worden voortgezet met het REPowerEU-plan en een nieuw aanbod van producten voor de renovatiesector⁶⁰. Bovendien is de sector schone energie gemiddeld 20 % productiever dan de totale economie. Sinds 2015 is de arbeidsproductiviteit in de sector schone energie sneller gestegen (2,5 % per jaar) dan in de economie als geheel (1,8 % per jaar). Deze stijging is toe te schrijven aan de sectoren e-mobiliteit (5 % per jaar) en hernieuwbare energie (4 % per jaar), waarbij verschillende trends worden waargenomen, al naar gelang de desbetreffende technologie.

Bijna 30 % van de bedrijven in de EU die zich bezighouden met de productie van elektrische apparatuur⁶¹ had in 2022 echter te kampen met een **tekort aan arbeidskrachten**, dat nog groter was dan in 2018. Dit is voornamelijk te wijten aan het algemene economische herstel na de pandemie in combinatie met de traagheid waarmee de sector schone energie de personeelscapaciteit opbouwt met de vaardigheden die nodig zijn voor de groene en digitale

⁵¹ De cijfers voor de sector schone energie in het verslag hebben betrekking op gegevens op basis van de EGSS-codes van Eurostat (categorieën “CREMA13A”, “CREMA13B” en “CEPA1”). CREMA13A (productie van energie uit hernieuwbare bronnen) omvat de productie van de technologieën die nodig zijn om hernieuwbare energie te produceren. CREMA13B (warmte-/energiebesparing en -beheer) omvat warmtepompen, slimme meters, energetische renovatieactiviteiten, isolatiematerialen en delen van slimme netten. CEPA1 (bescherming van omgevingslucht en klimaat) omvat elektrische en hybride auto's, bussen en andere schonere en efficiëntere voertuigen en oplaadinfrastructuur die essentieel is voor de werking van elektrische voertuigen (hieronder vallen ook onderdelen zoals batterijen, brandstofcellen en elektrische aandrijflijnen die essentieel zijn voor elektrische voertuigen).

⁵² Eurostat [env_ac_egss1].

⁵³ Eurostat [lfsi_emp_a].

⁵⁴ Eurostat [sbs_na_ind_r2].

⁵⁵ Internationaal Agentschap voor hernieuwbare energie (Irena) en Internationale Arbeidsorganisatie (IAO), *Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2021*, Abu Dhabi en Genève.

⁵⁶ Dit omvat directe en indirecte werkgelegenheid.

⁵⁷ EurObserv'ER. *The State of Renewable Energies in Europe – Edition 2021 20th EurObserv'ER Report*, 2022. Dit cijfer omvat warmtepompen.

⁵⁸ Warmtepompen waren goed voor 24 % van alle banen in de sector hernieuwbare energie, terwijl vaste biobrandstoffen en windenergie elk goed waren voor 20 %. Gebaseerd op: EurObserv'ER. *The State of Renewable Energies in Europe – Edition 2021 20th EurObserv'ER Report*, 2022.

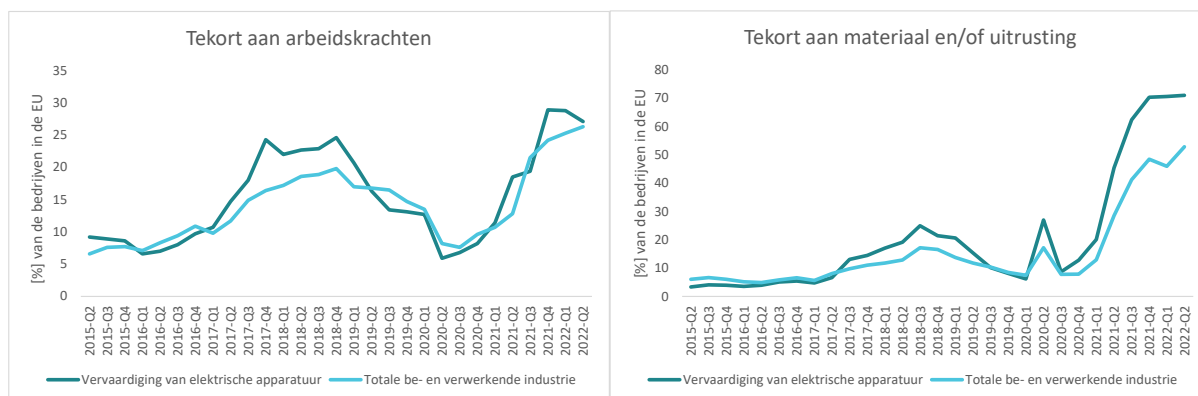
⁵⁹ Methodologische herzieningen hebben met name gevolgen gehad voor de gegevens over biobrandstoffen, die worden bijgewerkt op basis van projectgegevens van het project ADVANCEFUEL in het kader van Horizon 2020.

⁶⁰ Europese warmtepompvereniging (European Heat Pump Association — EHPA). *European Heat Pump Market and Statistics Report 2021*, 2022.

⁶¹ De NACE-code “27 — Vervaardiging van elektrische apparatuur” wordt gebruikt als graadmeter voor de sector van de productie van schone energie, aangezien veel schone-energietechnologieën onder deze categorie vallen. Deze code wordt ook gebruikt als graadmeter voor het industriële ecosysteem van hernieuwbare energie in de industriestrategie van de EU [COM(2020) 108 final en de recente actualisering daarvan [COM(2021) 350 final].

transitie⁶². Aangezien in 2022 meer dan 70 % van de bedrijven in de EU die zich bezighielden met de productie van elektrische apparatuur te maken had met tekorten aan materialen, blijkt uit deze trends dat het risico van verstoringen in de toeleveringsketen van schone energie steeds groter wordt (Figuur 3).

Figuur 3: Door fabrikanten van elektrische apparatuur in de EU en door de totale be- en verwerkende industrie ervaren tekorten aan arbeidskrachten en materialen [%].



Bron: JRC op basis van gegevens van conjunctuurenquêtes van DG ECFIN⁶³

In het REPowerEU-plan wordt opgeroepen tot meer inspanningen om het tekort aan geschoolde arbeidskrachten in verschillende segmenten van schone-energietechnologie te verhelpen. Hiertoe, en voortbouwend op reeds bestaande activiteiten binnen de EU⁶⁴, wordt in het plan steun voor vaardigheden aangekondigd via Erasmus+⁶⁵ en de Gemeenschappelijke Onderneming “Schone waterstof”⁶⁶. In de EU-strategie voor zonne-energie worden ook specifieke acties voorgesteld⁶⁷. Het industrieel forum schone energie (CEIF) van 2022 heeft de gezamenlijke verklaring over vaardigheden aangenomen⁶⁸, waarin wordt toegezegd dat er concrete stappen zullen worden ondernomen om de vastgestelde tekorten aan geschoolde arbeidskrachten aan te pakken⁶⁹. In 2022 heeft de Raad ook een aanbeveling goedgekeurd

⁶² De traagheid is te wijten aan de onjuiste afstemming van vraag en aanbod op de arbeidsmarkt (bv. ruimtelijk, sectoraal, beroepsmatig en tijdelijk). De snelle verandering in de richting van groen en digitaal staat in contrast met de tijd die nodig is om vaardigheden op te bouwen. Zie bijvoorbeeld:

- Czako, V., *Skills for the clean energy transition*, 2022 (verschijnt binnenkort);
- Asikainen, T., Bitat, A., Bol, E., Czako, V., Marmier, A., Muench, S., Murauskaitė-Bull, I., Scapolo, F. en Stoerner, E., *The future of jobs is green*, Bureau voor publicaties van de Europese Unie, Luxemburg, 2021, [doi:10.2760/218792](https://doi.org/10.2760/218792), JRC126047;
- Cedefop (Europees Centrum voor de ontwikkeling van de beroepsopleiding), *An ally in the green transition – VET, especially apprenticeship, can provide the skills needed for greening jobs – and in turn help shape them*, Bureau voor publicaties van de Europese Unie, Luxemburg, 2022, [http://data.europa.eu/doi/10.2801/712651](https://data.europa.eu/doi/10.2801/712651)

⁶³ Gegevens van conjunctuurenquêtes [industry_subsectors_q8_nace2].

⁶⁴ Bijvoorbeeld de Europese vaardighedenagenda 2020, het vlaggenschipinitiatief daarvan, het pact voor vaardigheden, en de bijbehorende partnerschappen met industriële ecosystemen, en het mechanisme voor een rechtvaardige transitie.

⁶⁵ Erasmus + <https://www.erasmuskills.eu/eskills/>

⁶⁶ Gemeenschappelijke Onderneming “Schone waterstof”, *Strategic Research and Innovation Agenda 2021–2027*, <https://www.clean-hydrogen.europa.eu/system/files/2022-02/Clean%20Hydrogen%20JU%20SRIA%20-%20approved%20by%20GB%20-%20clean%20for%20publication%20%28ID%2013246486%29.pdf>

⁶⁷ COM(2022) 221 final (“EU-strategie voor zonne-energie”).

⁶⁸ Gezamenlijke verklaring over vaardigheden in de sector schone energie, gepubliceerd op 16 juni 2022. Beschikbaar op: https://ec.europa.eu/info/news/clean-energy-industrial-forum-underlines-importance-deploying-renewables-2022-jun-16_en

⁶⁹ Zo zullen naar schatting 800 000 werknemers moeten worden opgeleid om in de waardeketen van batterijen te werken teneinde de REPowerEU-doelstellingen te verwezenlijken. Ongeveer 400 000 werknemers zullen moeten worden opgeleid en bijgeschoold in de waardeketen van warmtepompen, exclusief deskundigen die momenteel met warmtepompen werken en de komende jaren met pensioen zullen gaan (zie voetnoot 69).

waarin de lidstaten worden uitgenodigd maatregelen te nemen waarin de sociale en werkgelegenheidsaspecten van het klimaat-, energie- en milieubeleid aan bod komen⁷⁰. De Europese Commissie heeft op 12 oktober 2022 voorgesteld 2023 tot Europees Jaar van de Vaardigheden uit te roepen om de EU aantrekkelijker te maken voor geschoolde arbeidskrachten⁷¹.

Zowel in de energiesector als in onderzoek en innovatie op energiegebied blijft **genderongelijkheid** bestaan, hoewel consistente en continue naar geslacht uitgesplitste gegevens grotendeels ontbreken⁷². De ondervertegenwoordiging van vrouwen in de besluitvorming van energiebedrijven en in het hoger onderwijs op de subgebieden wetenschap, technologie, engineering en wiskunde (STEM) komt tot uiting in een lager percentage octrooiaanvragen door vrouwelijke uitvinders (slechts 20 % in alle octrooi klassen in 2021⁷³ en iets meer dan 15 % voor technologieën inzake mitigatie van de klimaatverandering⁷⁴), een lager percentage door vrouwen opgerichte of medeopgerichte startende ondernemingen (minder dan 15 % in de EU in 2021)⁷⁵ en lagere kapitaalinvesteringen in door vrouwen geleide ondernemingen (slechts 2 % in uitsluitend door vrouwen geleide startende ondernemingen en 9 % in gemengde teams in de EU in 2021⁷⁶).

De EU voert haar inspanningen op om een evenwichtig en gelijkwaardig ecosysteem te waarborgen. Tot de initiatieven behoren de strategie voor gendergelijkheid 2020-2025⁷⁷, het in 2022 gelanceerde initiatief “Women TechEU”⁷⁸, het nieuwe subsidiabiliteitscriterium in het kader van Horizon Europa⁷⁹ en de concrete gerichte acties van de nieuwe innovatieagenda 2022⁸⁰. Het overbruggen van de genderkloof zal niet alleen helpen om de uitdagingen op het gebied van banen en vaardigheden in de EU aan te pakken om de dubbele groene en digitale transitie tot stand te brengen, maar zal ook de inclusie van vrouwen op deze werkterreinen ondersteunen en zo maatschappelijke uitdagingen aanpakken.

2.2 Trends op het gebied van onderzoek en innovatie

De toenemende ecologische, geopolitieke, economische en sociale instabiliteit in de wereld vereist een flexibel EU-beleid op het gebied van onderzoek en innovatie waarmee doeltreffend kan worden gereageerd op crisissituaties en tegelijkertijd de uitvoering van de Europese Green Deal kan worden gewaarborgd.

⁷⁰ 2022/C 243/04, aanbeveling van de Raad inzake het garanderen van een rechtvaardige transitie naar klimaatneutraliteit.

⁷¹ COM(2022) 526 final.

⁷² COM(2020) 953 final, COM(2021) 952 final (“Vooruitgang op het gebied van het concurrentievermogen van schone-energie technologieën”).

⁷³ Voor uitvindingen waarbij ten minste één uitvinder in Europa is gevestigd. Cijfers gebaseerd op het Europees Octrooibureau 2022.

⁷⁴ Internationaal Energieagentschap, <https://www.iea.org/commentaries/gender-diversity-in-energy-what-we-know-and-what-we-dont-know>

⁷⁵ Europees Uitvoerend Agentschap Innovatieraad en het mkb (Eisma), 2022.

⁷⁶ Verslag van IDC “European Women in Venture Capital”, 2022.

⁷⁷ Europese Commissie, strategie voor gendergelijkheid.

⁷⁸ Europees Uitvoerend Agentschap Innovatieraad en het mkb (Eisma), 2022. https://eisma.ec.europa.eu/programmes/european-innovation-ecosystems/women-techeu_en

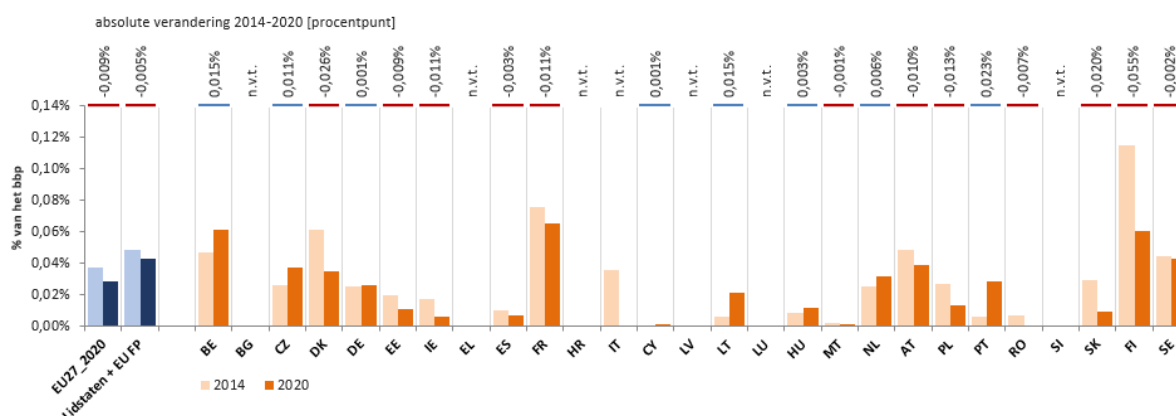
⁷⁹ Horizon Europa bevat een nieuw subsidiabiliteitscriterium waarbij onderzoeksorganisaties die financiering aanvragen, moeten beschikken over een uitvoerbaar gendergelijkheidsplan, met de doelstellingen om een genderevenwicht van 50 % te bereiken in alle met Horizon Europa verband houdende besluitvormende organen en beoordelaars. Meer informatie is te vinden op: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/strategy/strategy-2020-2024/democracy-and-rights/gender-equality-research-and-innovation_en#gender-equality-plans-as-an-eligibility-criterion-in-horizon-europe

⁸⁰ COM(2022) 332 final (“Een nieuwe Europese innovatieagenda”).

Het beleid van de EU op het gebied van onderzoek en innovatie zet de koers uit voor innovatie en de portefeuille van schone-energietechnologieën. Het grootste O&I-programma ter wereld, Horizon Europa (met een begroting van 95,5 miljard EUR voor O&I in 2021-2027), en andere door de EU gefinancierde programma's (bv. het Innovatiefonds en de financiering van het cohesiebeleid) zijn bedoeld om het O&I-ecosysteem van de EU te versterken en de beleidsdoelstellingen van de EU te helpen verwezenlijken⁸¹. Samen met gezamenlijke en gecoördineerde inspanningen van de lidstaten (met name via het Europees strategisch plan voor energietechnologie (SET-plan))⁸² vergroten de O&I-activiteiten de veerkracht van de sector schone energie in de EU.

De meeste EU-lidstaten hebben in 2020 hun overheidsinvesteringen op het gebied van onderzoek en innovatie in de prioriteiten van de energie-unie van de EU opgeschroefd^{83,84}, waarvoor tot dusver meer dan 4 miljard EUR is gerapporteerd. De definitieve totaalcijfers voor 2020 zullen naar verwachting in absolute cijfers vergelijkbaar zijn met de waarden van vóór de financiële crisis. Wanneer overheidsinvesteringen in onderzoek en innovatie echter als percentage van het bruto binnenlands product (bbp) worden gemeten, blijven zij op nationaal en EU-niveau onder het niveau van 2014 (Figuur 4).

Figuur 4: Overheidsinvesteringen in O&I voor schone energie in de EU-lidstaten als percentage van het bbp sinds de start van Horizon 2020⁸⁵.



Bron: JRC gebaseerd op het IEA⁸⁶ en eigen werk⁸⁷.

In 2020 droegen middelen van Horizon 2020 ter ondersteuning van de O&O-prioriteiten van de energie-unie 2 miljard EUR bij aan de bijdragen van de nationale programma's van de lidstaten. Hoewel de nationale bijdragen alleen laag blijven in de grote economieën, stond de EU in 2020 met inbegrip van de middelen van Horizon 2020 op de tweede plaats van de grote economieën op het gebied van overheidsinvesteringen in O&I voor schone energie (Figuur

⁸¹ Europese Commissie, directoraat-generaal Onderzoek en Innovatie, verslag "Science, Research and Innovation Performance of the EU 2022", Bureau voor publicaties van de Europese Unie, Luxemburg, 2022.

⁸² Het SET-plan is het belangrijkste instrument van de EU om beleidsmaatregelen en financiering op het gebied van onderzoek en innovatie voor schone-energietechnologieën op EU- en nationaal niveau op elkaar af te stemmen en particuliere investeringen aan te trekken. Voor meer informatie: https://energy.ec.europa.eu/topics/research-and-technology/strategic-energy-technology-plan_en

⁸³ Hernieuwbare energiebronnen, slimme systemen, efficiënte systemen, duurzaam vervoer, koolstofafvang, -gebruik en -opslag, en nucleaire veiligheid, COM(2015) 80 final ("Pakket energie-unie").

⁸⁴ JRC SETIS https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-research-and-innovation-data_en

⁸⁵ "EU FP": het kaderprogramma van de EU; en "n.v.t." verwijst naar landen die geen gegevens hebben verstrekt.

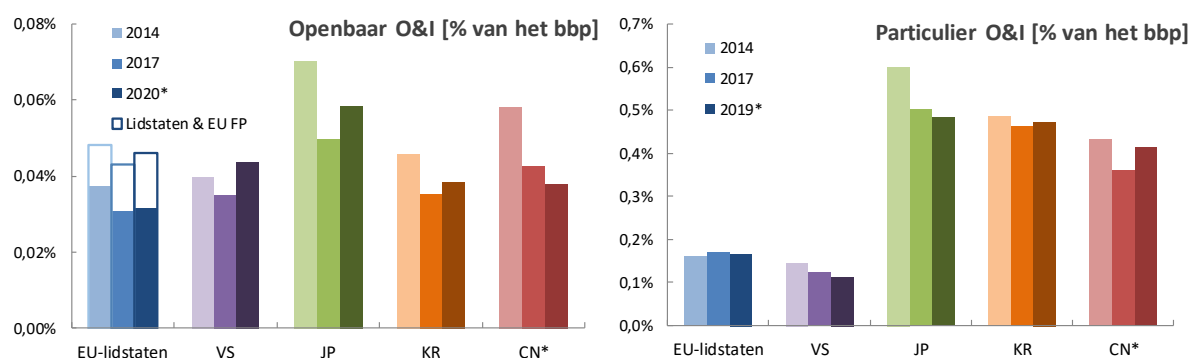
⁸⁶ Aangepast uit de 2022-editie van de IEA-gegevensbank voor O&D-budgetten voor energietechnologie.

⁸⁷ JRC SETIS, https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-research-and-innovation-data_en

5)⁸⁸, zowel in absolute uitgaven (6,6 miljard EUR, met de VS bovenaan de lijst met 8 miljard EUR) en als percentage van het bbp (0,046 %, met Japan bovenaan de lijst met 0,058 %, maar net vóór de VS en Zuid-Korea⁸⁹).

Volgens mondiale beoordelingen investeert het bedrijfsleven gemiddeld ten minste drie keer zo veel in O&I op het gebied van schone energie als de overheidssector⁹⁰. Investerings door het bedrijfsleven in de EU zijn goed voor 80 % van de uitgaven voor onderzoek en innovatie in het kader van de O&I-prioriteiten van de energie-unie. In 2019 bedroegen de particuliere investeringen in onderzoek en innovatie in de EU 0,17 % van het bbp (Figuur 5), en 11 % van de totale O&O-uitgaven van het bedrijfsleven. Uit ramingen voor de EU blijkt dat de investeringen in absolute termen (18-22 miljard EUR per jaar) sinds 2014 vergelijkbaar zijn met die van de VS en Japan. Wat het percentage van het bbp betreft, blijft de EU, ondanks het feit dat de investeringen van de EU hoger liggen dan die van de VS, echter achter bij andere grote concurrerende economieën (Japan, Zuid-Korea en China).

Figuur 5: Overheids- en particuliere O&I-financiering van de O&I-prioriteiten van de energie-unie in grote economieën als percentage van het bbp



*De openbare O&I-gegevens voor China en Italië (in totaal van de EU) hebben betrekking op 2019; de particuliere O&I-gegevens voor 2019 zijn voorlopig

Bron: JRC gebaseerd op het IEA⁹¹, MI⁹² en eigen werk.

Sinds 2014 heeft de helft van de EU-lidstaten zijn **octrooieringsactiviteiten** opgevoerd in overeenstemming met de O&I-prioriteiten van de energie-unie, waarbij kampioenen op het gebied van groene innovatie, zoals Duitsland en Denemarken, sterk presteren in zowel absolute cijfers als in het aandeel van groene octrooien in hun totale innovatieportefeuille. De EU bleef wereldwijd de grootste octrooiaanvrager op het gebied van klimaat en milieu (23 %), energie (22 %) en vervoer (28 %).

Wereldwijd waren er in 2020 iets minder **wetenschappelijke publicaties** over koolstofarme energietechnologieën dan in 2016-2019. In de EU trok dit aantal in 2016-2019 in meer beperkte mate aan (vergeleken met het wereldwijde gemiddelde) en nam het in 2020 sterker af. De EU

⁸⁸ De grafiek overlapt de eerste twee categorieën van figuur 4 voor de EU. De waarden in de twee figuren zijn licht verschillend, aangezien het cijfer voor Italië in Figuur 5 een schatting is.

⁸⁹ Deze cijfers omvatten de middelen van de lidstaten en het kaderprogramma van de EU. In het verslag van vorig jaar werd alleen verwezen naar de middelen van de lidstaten, die ook worden weergegeven in figuur 5 en die als percentage van het bbp onder de middelen van andere grote economieën blijven.

⁹⁰ IEA, *Tracking clean energy innovation – A framework for using indicators to inform policy*, 2020.

⁹¹ Aangepast uit de 2022-editie van de IEA-gegevensbank voor O&O&D-budgetten voor energietechnologie.

⁹² *Mission Innovation Country Highlights*, 6th MI Ministerial 2021, http://mission-innovation.net/wp-content/uploads/2021/05/MI_2021v0527.pdf

droeg wereldwijd iets meer dan 16 % van de wetenschappelijke artikelen bij, maar bleef per hoofd van de bevolking meer dan het dubbele van het wereldwijde gemiddelde aantal publicaties produceren⁹³.

Deze trend is voornamelijk toe te schrijven aan het toenemende aantal wetenschappelijke publicaties op andere gebieden en aan het feit dat hooginkomenslanden niet langer lijken te domineren op het gebied van onderwerpen in verband met schone energie en innovatie⁹⁴. Tien jaar geleden was de EU toonaangevend op het gebied van energieonderzoek, maar door de enorme verbetering van de kwantiteit en kwaliteit van de Chinese productie op het gebied van energieonderzoek is de EU op de tweede plaats komen te staan. Chinese onderzoekers lopen voorop bij de meest aangehaalde publicaties met betrekking tot energie (met een aandeel van 39 %)⁹⁵. Niettemin werken EU-wetenschappers samen en publiceren zij internationaal over schone energie, in een mate die ver boven het wereldwijde gemiddelde ligt, en is er een hoger niveau van samenwerking tussen de particuliere en openbare sectoren in de EU. Het kaderprogramma voor onderzoek en innovatie van Horizon 2020, het Europees Fonds voor regionale ontwikkeling en het zevende kaderprogramma voor onderzoek en innovatie werden in de periode 2016-2020 tot de top 20 van erkende financieringsregelingen ter ondersteuning van wetenschap op het gebied van schone energie gerekend⁹⁶.

De noodzaak om beter toezicht te houden op de O&I-activiteiten op het gebied van schone energie door de overheid en de particuliere sector en de kwantitatieve beoordeling van het concurrentievermogen te verbeteren, werd benadrukt in de meest recente editie van het verslag⁹⁷ en is sindsdien nog groter geworden. De herziening van het SET-plan en de geplande actualisering van de nationale energie- en klimaatplannen⁹⁸ die in juni 2024 zijn gepland⁹⁹, creëren samen een momentum voor het versterken van de dialoog over O&I op het gebied van schone energie en concurrentievermogen tussen de EU en haar lidstaten.

2.3 Het mondiale concurrentieklimaat op het gebied van schone energie

Wereldwijd heeft de dringende verplichting om de energietransitie te versnellen geleid tot de ontwikkeling van vele schone-energieoplossingen, variërend van nichetechnologieën tot de mondiale bedrijfstak en internationale waardeketens. Naar schatting zullen de mondiale

⁹³ Europese Commissie, directoraat-generaal Onderzoek en Innovatie, Provençal, S., Khayat, P., Campbell, D., *Publications as a measure of innovation performance in the clean energy sector: beoordeling van bibliometrische indicatoren*, Bureau voor publicaties van de Europese Unie, Luxemburg, 2022.

⁹⁴ Schneegans S., Straza, T., en Lewis, J. (redacteurs), *UNESCO Science Report: the Race Against Time for Smarter Development*, UNESCO Publishing, Parijs, 2021.

⁹⁵ Europese Commissie, directoraat-generaal Onderzoek en Innovatie, verslag “*Science, Research and Innovation, Performance of the EU 2022*”, Bureau voor publicaties van de Europese Unie, Luxemburg, 2022.

⁹⁶ Elsevier, *Pathways to Net Zero: The Impact of Clean Energy Research*, 2021. Beschikbaar op: https://www.elsevier.com/data/assets/pdf_file/0006/1214979/net-zero-2021.pdf. Publicaties worden beschouwd als energieneutraal onderzoek indien zij bevorderlijk zijn voor de kennis over onderzoek en innovatie op het gebied van schone energie en het traject naar een klimaatneutrale toekomst. De gegevens zijn afkomstig uit de Scopus-databank.

⁹⁷ COM (2021) 952 final en SWD(2021) 307 final (“Progress on competitiveness of clean energy technologies”)

⁹⁸ Meer informatie over de nationale energie- en klimaatplannen: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/national-energy-and-climate-plans-necps_en

⁹⁹ PB L 328 van 21.12.2018. Verordening (EU) 2018/1999 inzake de governance van de energie-unie en klimaatactie voorziet in de regelmatige herziening van de nationale energie- en klimaatplannen om ze in overeenstemming te brengen met de meest recente beleidsontwikkelingen. De ontwerpversies van de nationale energie- en klimaatplannen worden tegen juni 2023 verwacht.

markten voor hernieuwbare energie tegen 2050 24 biljoen EUR waard zijn en voor energie-efficiëntie 33 biljoen EUR¹⁰⁰.

Het leiderschap van de EU op het gebied van wetenschap, haar sterke industriële basis en haar ambitieuze kadervoorwaarden voor schone energie vormen een goede technologische basis voor de verwachte marktontwikkeling van verschillende schone-energietechnologieën. De EU heeft sinds 2014 haar goede positie op het gebied van **internationaal beschermde octrooien** behouden en bevestigt daarmee de in het verslag van vorig jaar gesignaleerde trend¹⁰¹. Op het gebied van hoogwaardige uitvindingen¹⁰² blijft de EU tweede, met alleen Japan voor zich, zij leidt op het gebied van hernieuwbare energie en deelt de koppositie met Japan op het gebied van energie-efficiëntie, voornamelijk dankzij de specialisatie van de EU op het gebied van materialen en technologieën voor gebouwen. Uit de octrooigegevens van de EU blijkt ook haar leiderschap op het gebied van hernieuwbare brandstoffen; batterijen en e-mobiliteit; en technologieën voor koolstofafvang, -opslag en gebruik.

De meeste nieuwe investeringen in schone-energietechnologieën zullen naar verwachting buiten de EU plaatsvinden en de benodigde grondstoffen worden internationaal verhandeld¹⁰³. Dit maakt de sterke aanwezigheid en prestaties van de EU in mondiale waardeketens en haar toegang tot markten van derde landen van essentieel belang. Doordat de regeringen van derde landen steeds meer maatregelen nemen (invoering van belemmeringen voor markttoegang, vereisten inzake lokale inhoud en andere discriminerende maatregelen of praktijken) kan de **dynamiek van de internationale handel en investeringen** echter worden verstoord. Deze maatregelen kunnen negatieve gevolgen hebben voor de werkgelegenheid, de groei en de belastinggrondslag in de EU, en de voordelen ondermijnen die de EU normaal gezien zou hebben als zij op dit gebied een voortrekkersrol zou vervullen. Zij houden ook een duidelijk gevaar voor “besmetting” in, omdat zij andere derde landen ertoe kunnen aanzetten soortgelijke maatregelen te nemen die leiden tot inefficiënties in de internationale toeleveringsketens en op langere termijn van invloed zijn op prikkels om in de sector te investeren. Dit zou op zijn beurt leiden tot hogere kosten voor de transitie in het algemeen en zou afbreuk kunnen doen aan de voortdurende inzet van het grote publiek voor wereldwijde decarbonisatie.

Er blijft wereldwijd ook bezorgdheid bestaan, en deze neemt zelfs toe, over de impact van door de overheid of subsidies ondersteunde technologie; gesloten markten; verschillende regels inzake intellectuele bescherming; beleidsmaatregelen inzake concurrentievermogen en innovatie in de sector, met name het beleid dat door China en andere derde landen wordt gehanteerd. De huidige geopolitieke crisis heeft ook gevolgen gehad voor de concurrentie op de mondiale markt voor schone energie, en het valt nog te bezien hoe nieuwe nationale maatregelen om de binnenlandse uitrol van schone-energietechnologieën te versnellen (bv. de Amerikaanse Inflation Reduction Act¹⁰⁴) (wet ter verlaging van de inflatie) negatieve gevolgen kunnen hebben voor het mondiale concurrerende landschap voor schone energie.

Binnen dit kader zal **internationale samenwerking op het gebied van onderzoek en innovatie** niet alleen de transitie naar schone energie verder versnellen, maar ook de verstoring

¹⁰⁰ Irena, *Global energy transformation: a roadmap to 2050*, Abu Dhabi, 2019.

¹⁰¹ COM(2021) 952 final (“Vooruitgang op het gebied van het concurrentievermogen van schone-energietechnologieën”).

¹⁰² Hoogwaardige octrooifamilies (uitvindingen) zijn octrooiaanvragen die bij meer dan één bureau zijn ingediend (d.w.z. uitvindingen waarvoor in meer dan één land/markt bescherming wordt aangevraagd).

¹⁰³ Internationaal Energieagentschap, *Net Zero by 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector*, 2021.

¹⁰⁴ [FACT SHEET: The Inflation Reduction Act Supports Workers and Families | The White House](#)

van de mondiale energiemarkt tegengaan. EU-programma's en -beleidsmaatregelen, zoals Horizon Europa en Erasmus+, hebben de samenwerking op het gebied van onderzoek en innovatie met betrouwbare mondiale partners consequent ondersteund. De mededeling van de Commissie over “De totaalaanpak voor onderzoek en innovatie”¹⁰⁵ biedt een verbeterd kader voor de ontwikkeling van internationale samenwerking. De mededeling van de Commissie over “De externe energiebetrokkenheid van de EU in een veranderende wereld”¹⁰⁶ beoogt die samenwerking te intensiveren en partnerschappen tot stand te brengen ter ondersteuning van de groene transitie op cruciale gebieden zoals hernieuwbare en koolstofarme waterstof, en toegang tot grondstoffen en innovatie. Bovendien wordt in de mededeling van de Commissie “Een nieuwe EOR voor onderzoek en innovatie”¹⁰⁷ opgeroepen leidende beginselen voor kennisvalorisatie bij te werken en op te stellen. Eind 2022 wordt een praktijkcode voor slim gebruik van intellectuele eigendom verwacht¹⁰⁸. De Commissie helpt de internationale samenwerking op het gebied van energie-innovatie en -technologie te bevorderen door zich te blijven inzetten voor Mission Innovation¹⁰⁹ en de Clean Energy Ministerial. Voorts wordt in de nieuwe EU-strategie voor mondiale connectiviteit, de Global Gateway¹¹⁰, de mededeling van de Commissie “Evaluatie van het handelsbeleid”¹¹¹ en het Internationaal Partnerschap voor een rechtvaardige energietransitie met Zuid-Afrika¹¹² de noodzaak benadrukt om de internationale samenwerking en handelsbetrekkingen te verdiepen om het concurrentievermogen van schone-energie technologieën te benutten in synergie met het open karakter en de aantrekkelijkheid van de eengemaakte markt van de EU.

Internationale samenwerking op het gebied van onderzoek, technologieoverdracht, handelsbeleid en energiediplomatie zullen moeten worden gecombineerd om onverstoord handel en investeringen te garanderen in de technologieën, diensten en grondstoffen die nodig zijn voor de transitie binnen en buiten de EU. De EU zal ook haar potentieel voor het opschalen van innovatie verder moeten benutten om te voorkomen dat zij steeds afhankelijker van andere grote economieën wordt voor ingevoerde technologieën die nodig zijn voor de energietransitie en de nieuwe architectuur van het energiesysteem.

2.4 Het financieringslandschap voor innovatie in de EU¹¹³

Oplossingen op het gebied van klimaattechnologie¹¹⁴ bevorderen het concurrentievermogen en de technologische soevereiniteit van de EU. Samen met de invoering van rijpere

¹⁰⁵ COM(2021) 252 final (“De strategie van Europa voor internationale samenwerking in een veranderende wereld”).

¹⁰⁶ JOIN(2022) 23 final (“De externe energiebetrokkenheid van de EU in een veranderende wereld”).

¹⁰⁷ COM(2020) 628 final (“Een nieuwe EOR voor onderzoek en innovatie”).

¹⁰⁸ Er is al een nieuwe gids beschikbaar over de valorisatie van de resultaten van Horizon Europa op: <https://data.europa.eu/doi/10.2826/437645>

¹⁰⁹ <http://mission-innovation.net/> Na de eerste vijf succesvolle jaren werd MI 2.0 gelanceerd met een nieuwe reeks “missies”.

¹¹⁰ JOIN(2021) 30 final (“De Global Gateway”), gezamenlijke mededeling van de Europese Commissie en de hoge vertegenwoordiger van de Unie voor buitenlandse zaken en veiligheidsbeleid aan het Europees Parlement, de Raad, het Europees Economisch en Sociaal Comité, het Comité van de Regio's en de Europese Investeringsbank.

¹¹¹ COM(2021) 66 final (“Evaluatie van het handelsbeleid — Een open, duurzaam en assertief handelsbeleid”).

¹¹² Partnerschap voor een rechtvaardige energietransitie met Zuid-Afrika (europa.eu).

¹¹³ De analyse in dit deel is gebaseerd op PitchBook-gegevens. PitchBook identificeert momenteel meer dan 2 750 durfkapitaalmaatschappijen in zijn verticale marktsegment Climate Tech (vergeleken met meer dan 2 250 bij de publicatie van de editie 2021 van het CPR-verslag). De cijfers voor historische durfkapitaalinvesteringen in de CPR-verslagen van 2020 en 2021 zijn daardoor niet rechtstreeks vergelijkbaar.

¹¹⁴ Het verticale marktsegment klimaattechnologie van PitchBook is een selectie van 2 760 bedrijven die technologieën ontwikkelen die zijn gericht op afzwakking van en aanpassing aan de gevolgen van de klimaatverandering. De meeste bedrijven in dit verticale marktsegment richten zich op het beperken van de toenemende emissies door middel van

opwekkingstechnologieën zullen zij een cruciale rol spelen om tegen 2050 koolstofneutraliteit te bereiken¹¹⁵.

De afgelopen zes jaar heeft klimaattechnologie (“climate tech”) in de EU steeds meer durfkapitaalinvesteringen aangetrokken¹¹⁶, die wat innovatie betreft voorop lopen. Klimaattechnologie kan lange doorlooptijden vergen om marktrijp te worden en daarom is er absoluut behoefte aan een aanzienlijk bedrag aan kapitaal gedurende de financieringscycli van startende ondernemingen; aan investeringen in onderzoek en innovatie¹¹⁷; en aan overheidsmaatregelen om de risico’s van de ontwikkeling van oplossingen op het gebied van klimaattechnologie te beperken, en moet de participatie van de particuliere sector verder worden gestimuleerd.

Wereldwijd is gebleken dat durfkapitaalinvesteringen op **klimaatgebied** indrukwekkend goed bestand zijn tegen de pandemie, met reeds hogere investeringsniveaus in 2020 (20,2 miljard EUR) en nieuwe historisch hoge niveaus in 2021 (40,5 miljard EUR, een stijging van 100 % ten opzichte van 2020¹¹⁸). Binnen dit cijfer hebben in de EU gevestigde startende en doorgroeïende ondernemingen op het gebied van klimaattechnologie in 2021 6,2 miljard EUR aan durfkapitaalinvesteringen aangetrokken, meer dan het dubbele van het niveau van 2020¹¹⁹. Dit komt neer op 15,4 % van de wereldwijde durfkapitaalinvesteringen in klimaattechnologie. 2021 was ook het eerste jaar waarin in een later stadium meer in klimaattechnologie in de EU werd geïnvesteerd dan in China¹²⁰. Investerings in het beginstadium bereikten in 2021 echter nieuwe hoogten in de VS en China, maar bereikten een piek in de EU (Figuur 6).

decarbonisatietechnologieën en -processen. Toepassingen in dit verticale marktsegment omvatten de opwekking van hernieuwbare energie; langdurige energieopslag; elektrificatie van het vervoer; innovaties in de landbouw; verbeteringen van industriële processen; en mijnbouwtechnologieën.

¹¹⁵ Het deel is ontwikkeld in nauwe samenwerking met het waarnemingscentrum voor schone-energietechnologie van de Europese Commissie: Georgakaki, A. e.a., waarnemingscentrum voor schone-energietechnologie, *Overall Strategic Analysis of Clean Energy Technology in the European Union* — Statusverslag 2022, Europese Commissie, 2022, JRC131001.

¹¹⁶ Durfkapitaalovereenkomsten worden gedefinieerd als transacties in een vroeg stadium (met inbegrip van pre-seed, accelerator/incubator, angel, seed, serie A- en serie B-financiering die binnen vijf jaar na de oprichtingsdatum van de onderneming plaatsvindt) en transacties in een later stadium (gewoonlijk serie B- tot serie Z+-ronden en/of rondes die meer dan vijf jaar na de oprichtingsdatum van de onderneming plaatsvinden, niet nader genoemde rondes en groei/uitbreiding van private equity).

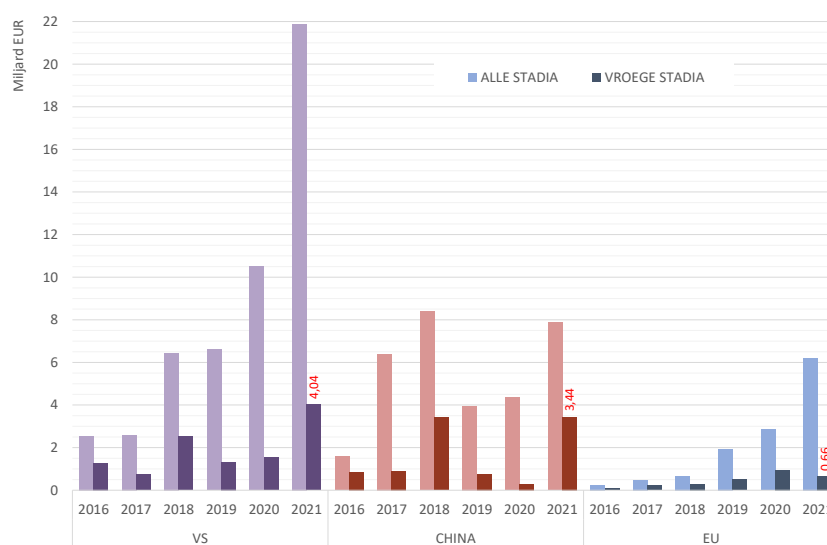
¹¹⁷ Dit leidt tot de opkomst van de term “deep green” startende ondernemingen (d.w.z. startende ondernemingen die gebruikmaken van geavanceerde technologieën om milieuproblemen aan te pakken, zoals groene batterijproductie, elektrische vliegtuigen). Deep green staat op het snijpunt tussen climate tech en “deep tech” (deep tech is de toepassing van wetenschappelijke ontdekkingen op het gebied van engineering, wiskunde, natuurkunde en geneeskunde. Het wordt gekenmerkt door lange onderzoeks- en ontwikkelingscycli en onbeproefde bedrijfsmodellen).

¹¹⁸ Dit is goed voor 5,2 % van de totale durfkapitaalfinanciering in 2021 volgens de uitwerking van het JRC op basis van PitchBook-gegevens (4,6 % in 2020).

¹¹⁹ COM(2021) 952 final (“Vooruitgang op het gebied van het concurrentievermogen van schone-energietechnologieën”).

¹²⁰ Alleen al de investeringen in de Zweedse ontwikkelaar van batterijen voor elektrische voertuigen, Northvolt, hebben de afgelopen jaren een aanzienlijk effect gehad op de algemene trends van durfkapitaalinvesteringen in op klimaattechnologie gerichte ondernemingen in de EU. Aangezien de onderneming is overgeschakeld op investeringen in latere stadia, namen de investeringen in een vroeg stadium in startende ondernemingen in de EU in 2021 af, terwijl de investeringen in een later stadium stegen om voor het eerst uit te komen op een hogere waarde dan in China.

Figuur 6: Durfkapitaalinvesteringen in op klimaattechnologie gerichte startende en doorgroeende ondernemingen



Bron: uitwerking van het JRC op basis van PitchBook-gegevens.

De **energiesector** was in 2021 goed voor 22 % van de wereldwijde durfkapitaalinvesteringen in klimaattechnologie (opwekking van schone energie¹²¹ en nettechnologieën¹²² waren goed voor respectievelijk 13,2 % en 8,7 %). Met niveaus die bijna vier keer zo hoog zijn (3,8 zo hoog) als in 2020¹²³, blijft de energiesector achter bij de sector mobiliteit en vervoer (46 %), maar stak hij voor het eerst de sector voedsel- en landgebruik (19,6 %) voorbij.

In de EU is de aanhoudende groei van de afgelopen vier jaar (een stijging met 60 % in 2020) bevestigd door durfkapitaalinvesteringen in energiebedrijven. Ondanks deze goede prestaties is het relatieve aandeel van durfkapitaalinvesteringen in energie in de EU in 2021 gehalveerd. In de EU vloeit 10 % van de durfkapitaalinvesteringen naar energiebedrijven. Daarmee staat de EU op de derde plaats, ver achter de VS (62 %) en China (13,3 %), die beide uitstekende investeringsniveaus vertoonden in 2021 dankzij megadeals op het gebied van de opwekking van schone energie.

Ondanks de positieve dynamiek van durfkapitaalfinanciering in de EU en de aantrekkingskracht van in de EU gevestigde klimaattechnologie voor durfkapitaalinvesteerders, staan structurele belemmeringen en maatschappelijke uitdagingen¹²⁴ nog steeds in de weg aan op klimaattechnologie gerichte doorgroeende ondernemingen in de EU, in vergelijking met andere grote economieën. De EU-taxonomie voor duurzame

¹²¹ Met inbegrip van zonne-energie, windenergie, kernenergie, energierugwinning, oceanenergie en waterkracht en geothermische energie.

¹²² Met inbegrip van energieopslag op lange termijn, netbeheer, analyse, batterijtechnologie, slimme netten en productie van schone waterstof.

¹²³ Investerings in technologieën voor de opwekking van schone energie zijn de belangrijkste aanjagers van deze groei. Als gevolg van aanzienlijke grote investeringen in kernfusie in de VS en windenergie in China is deze groei 2,4 keer sneller toegenomen dan de investeringen in nettechnologieën en durfkapitaalinvesteringen in klimaattechnologie in het algemeen.

¹²⁴ COM(2020) 953 final ("Verslag over de vooruitgang op het gebied van het concurrentievermogen inzake schone energie") en COM(2022) 332 final ("Een nieuwe Europese innovatieagenda").

activiteiten biedt niettemin een kader om duurzame investeringen te faciliteren en ecologisch duurzame economische activiteiten te definiëren. Bovendien is het innovatiebeleid van de EU in de loop der jaren uitgebreid en is het institutionele landschap daarmee ook veranderd¹²⁵.

Pijler III van Horizon Europa over “Innovatief Europa” biedt instrumenten ter ondersteuning van startende ondernemingen, doorgroeierende ondernemingen en kleine en middelgrote ondernemingen (kmo’s). In dit verband is de Europese Innovatieraad, met een begroting van 10,1 miljard EUR tussen 2021 en 2027, het vlaggenschipprogramma voor innovatie van de EU voor het vaststellen, ontwikkelen en opschalen van baanbrekende technologieën en revolutionaire innovaties. Horizon Europa ondersteunt ook het initiatief Europese innovatie-ecosystemen en het Europees Instituut voor innovatie en technologie (EIT). EIT InnoEnergy heeft het grootste ecosysteem voor innovatie inzake duurzame energie ter wereld gebouwd en neemt ook het voortouw bij de overgang naar een koolstofvrije EU tegen 2050 door als leider op te treden voor drie industriële waardeketens (de Europese alliantie voor batterijen, het Europees centrum voor de versnelling van groene waterstof (European Green Hydrogen Acceleration Centre) en het Europese zonne-energie-initiatief (European Solar Initiative)).

Met betrekking tot de **financieringsprogramma’s van de EU** is het Innovatiefonds een van de grootste ter wereld¹²⁶ voor het demonstreren van schone innovatieve technologieën en het toepassen ervan op industriële schaal. Het InvestEU-programma is een belangrijk onderdeel van het herstelplan van de EU en ondersteunt de toegang tot en de beschikbaarheid van financiering voor kmo’s, midcap-ondernemingen en andere ondernemingen. Het cohesiebeleid voorziet in grootschalige en langetermijninvesteringen, met name voor kmo’s, in innovatie en industriële waardeketens om de ontwikkeling van hernieuwbare en koolstofarme technologieën en bedrijfsmodellen te stimuleren. Bovendien ondersteunen de Europese Investeringsbank (EIB) en het Europees Investeringsfonds (EIF) op doeltreffende wijze de diep tech-ontwikkeling die de EU nodig heeft om haar duurzaamheidsdoelstellingen te verwezenlijken. Andere financieringsprogramma’s, zoals het moderniseringsfonds en het voorgestelde sociaal klimaatfonds¹²⁷, hebben tot doel de inkomsten uit klimaatgerelateerde beleidsmaatregelen ter ondersteuning van de energietransitie te helpen kanaliseren.

Deze programma’s en andere EU-initiatieven, zoals de kapitaalmarktenunie (KMU)¹²⁸, zijn gericht op de verdere werving van particuliere investeerders voor de financiering van klimaattechnologie en op diep climate tech gerichte startende ondernemingen¹²⁹. Het baanbrekende partnerschap tussen de Europese Commissie en Breakthrough Energy Catalyst¹³⁰ is een ander voorbeeld van hoe investeringen in cruciale klimaattechnologieën kunnen worden gestimuleerd, waarbij de publieke en particuliere sector samen wordt gebracht.

Het tot stand brengen van synergieën tussen EU-programma’s en -instrumenten en het vergroten van de samenhang tussen de lokale innovatie-ecosystemen van de EU kan de EU

¹²⁵ COM(2022) 332 final (“Een nieuwe Europese innovatieagenda”).

¹²⁶ 38 miljard EUR steun voor de periode 2020-2030, uitgaande van een koolstofprijs van 75 EUR/tCO₂.

¹²⁷ https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/delivering-european-green-deal/social-climate-fund_en

¹²⁸ https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/capital-markets-union_en

¹²⁹ Op diep tech gerichte startende ondernemingen bouwen voort op wetenschappelijke kennis en hebben doorgaans lange onderzoeks- en ontwikkelingscycli en onbeproefde bedrijfsmodellen. Op diep climate tech gerichte startende ondernemingen zijn bedrijven die geavanceerde technologie gebruiken om milieuproblemen aan te pakken.

¹³⁰ Partnerschap tussen de Europese Commissie en Breakthrough Energy Catalyst (europa.eu): https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/nl/IP_21_2746

helpen een wereldleider op het gebied van klimaattechnologie te worden, waarbij de groeiende kloof tussen de EU en andere grote economieën kan worden gedicht door gebruik te maken van haar diverse talenten, intellectuele activa en industriële capaciteiten. Het Europees innovatiescorebord 2022¹³¹ benadrukt de noodzaak een pan-Europees innovatie-ecosysteem op te zetten, en de mededeling van de Commissie van 2022 “Een nieuwe Europese innovatieagenda”¹³² is al een stap voorwaarts omdat ze tot doel heeft de troeven van het innovatie-ecosysteem van de EU¹³³ uit te spelen.

2.5 De gevolgen van systemische verandering

Om de dubbele groene en digitale transitie tot stand te brengen en de doelstellingen van de Europese Green Deal en Fit for 55 te verwezenlijken, moet de sector schone energie van de EU een reeds in gang gezette paradigmaverschuiving versnellen: de noodzaak om de muren tussen sectoren te slopen en de samenwerking op horizontale gebieden te versterken (bv. de cruciale rol van grondstoffen, de digitalisering van het energiesysteem en de wisselwerking tussen verschillende technologieën in industriële processen, individuele gebouwen, en steden). Voorbeelden van deze systemische transformatie zijn: bouwgerelateerde schone-energie technologieën; digitalisering van het energiesysteem; en energiegemeenschappen en subnationale samenwerking.

Bouwgerelateerde schone-energie technologieën: verplichte installaties voor fotonvoltaïsche zonne-energie op daken en een verdubbeling van de snelheid waarmee individuele warmtepompen momenteel worden uitgerold¹³⁴ zullen bijdragen tot de verwezenlijking van de klimaat- en energiedoelstellingen. Om deze doelstellingen te bereiken, moet de bouwsector ook een uitgebreide reeks aanvullende oplossingen voor nieuwe gebouwen integreren, zoals efficiënte isolatiemethoden en controlesystemen, maar ook hulpbronnenefficiënte maatregelen. Dit moet hand in hand gaan met een verhoging van het renovatietempo en bevordering van grondige renovatie. Energieopslag ter plaatse (batterijen) is een ander belangrijk element om tot een groter aandeel warmtepompen te komen en extreme pieken in de opwekking en transmissie/distributie van elektriciteit te vermijden. Naast de beschikbaarheid van producten zijn installatievaardigheden en operationele diensten voor de verschillende technologieën van cruciaal belang voor de schone-energiesectoren in de EU en voor haar concurrentievermogen.

Digitalisering van het energiesysteem: de digitalisering neemt exponentieel toe: het internetverkeer is alleen al in de afgelopen vijf jaar verdrievoudigd en ongeveer 90 % van alle gegevens in de wereld is de afgelopen twee jaar gecreëerd¹³⁵. Decentralisatie van energie — zowel op het gebied van opwekking als via miljoenen verbonden slimme apparaten, warmtepompen en elektrische auto's — verandert het lokale energiesysteem. In een

¹³¹ Europese Commissie, Europees innovatiescorebord 2022, jaarverslag, 2022.

¹³² COM(2022) 332 final (“Een nieuwe Europese innovatieagenda”).

¹³³ In de mededeling staat dat de EU werk zal maken van concrete maatregelen om de toegang tot financiering voor startende en doorgroeiende ondernemingen in de EU te verbeteren; de regels zal verbeteren om innovatoren in staat te stellen nieuwe ideeën uit te proberen; zal helpen bij het opzetten van “regionale innovatievalleien”; talent in de EU zal aantrekken en vasthouden; en de innovatiebeleidsvorming zal verbeteren dankzij duidelijke terminologie, indicatoren en gegevensreeksen, alsook door de verlening van beleidsondersteuning aan de lidstaten.

¹³⁴ COM(2022) 230 (“REPowerEU Plan”).

¹³⁵ Internationaal Energieagentschap, *Digitalization and Energy*, 2017, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/b1e6600c-4e40-4d9c-809d-1d1724c763d5/DigitalizationandEnergy3.pdf>

beoordeling voor Hamburg (Duitsland) kwamen aanzienlijke potentiële kostenbesparingen naar voren: door 2 miljoen EUR in slim opladen te investeren om de piekvraag terug te dringen, kan worden voorkomen dat 20 miljoen EUR moet worden geïnvesteerd in de noodzakelijke versterking van het net om 9 % van de elektrische voertuigen in de stad te kunnen bedienen¹³⁶. Indien lokale energiebehoeften niet op intelligente wijze worden beheerd, kunnen capaciteitsbeperkingen in distributienetwerken de transformatie naar schone energie vertragen. Zonder passende energie-efficiëntiemaatregelen, zoals terugwinning van afvalwarmte uit datacentra, kunnen bepaalde digitale oplossingen het energieverbruik en de uitstoot van broeikasgassen echter doen toenemen.

Energiegemeenschappen en subnationale samenwerking: sinds 2000 hebben ten minste twee miljoen Europese burgers deelgenomen aan meer dan 8 400 energiegemeenschappen en meer dan 13 000 projecten uitgevoerd¹³⁷. Energiegemeenschappen vormen een belangrijke proefbank en een belangrijk toepassingsgebied voor schone-energie technologieën en -oplossingen. De totale capaciteit voor hernieuwbare energie die door energiegemeenschappen in Europa is geïnstalleerd, wordt momenteel geraamd op ten minste 6,3 GW (d.w.z. ongeveer 1-2 % van de geïnstalleerde capaciteit op nationaal niveau). Zonne-energie vormt het leeuwendeel van de geïnstalleerde capaciteit. Daarna volgt onshore-windenergie. De ontwikkeling van participatieve modellen voor meer schone-energie technologieën, met name gericht op huishoudens met een lager inkomen, kan de aanzet geven tot de oprichting van meer energiegemeenschappen in de hele EU en tegelijkertijd bijdragen tot het aanpakken van energiearmoede.

Het verbeteren van de samenwerking tussen horizontale gebieden, rekening houdend met de onderlinge afhankelijkheid tussen verschillende sectoren, zowel op het niveau van de lidstaten als dat van de EU, is van cruciaal belang om de uitrol en opschaling van schone-energie technologieën te versnellen en het concurrentievermogen van de EU op de mondiale markt voor schone energie te versterken¹³⁸.

3. FOCUS OP BELANGRIJKE SCHONE-ENERGIETECHNOLOGIEËN EN -OPLOSSINGEN

Dit deel bevat de beoordeling van het concurrentievermogen van een reeks schone-energie technologieën en -oplossingen die van cruciaal belang zijn voor energieopwekking, -opslag en systeemintegratie. Het biedt tevens inzicht in de ontwikkeling van de technologie en de markt om de doelstellingen van de Europese Green Deal en REPowerEU te verwezenlijken. Dit deel bevat een analyse van fotonvoltaïsche zonne-energie, windenergie, warmtepompen voor toepassingen in gebouwen, batterijen, waterstofproductie door middel van elektrolyse, hernieuwbare brandstoffen, en digitale infrastructuur. Het biedt ook een overzicht van andere

¹³⁶ Stromnetz Hamburg, *Elektromobilität – Netzausbaustrategie und Restriktionen im Hamburger Verteilnetz*, Hamburg, 2018, <https://www.hamburg.de/contentblob/10993526/1f90214d9b07e4de6323c078ff779d9d/data/d-anlage-13-pra%CC%88sentation-snh-20180504-energienetzbeirat-snh.pdf>

¹³⁷ Schwanitz, V. J., Wierling, A., Zeiss, J. P., von Beck, C., Koren, I. K., Marcroft, T., en Dufner, S., *The contribution of collective prosumers to the energy transition in Europe - Preliminary estimates at European and country level from the COMETS inventory*, augustus 2021, <https://doi.org/10.31235/osf.io/2ymuh>

¹³⁸ Wetenschappelijk advies van Europese academies voor beleidsvorming SAPEA (Science Advice for Policy by European Academies), *A systemic approach to the energy transition in Europe*, Berlijn, 2021, <https://doi.org/10.26356/energytransition>

belangrijke technologieën¹³⁹. Deze empirisch onderbouwde analyse — op basis van de in bijlage I vermelde indicatoren — werd uitgevoerd in het kader van het interne waarnemingscentrum voor schone-energietechnologie (CETO) van de Commissie, dat wordt gerealiseerd door het Gemeenschappelijk Centrum voor onderzoek. De gedetailleerde technologiespecifieke verslagen zijn beschikbaar op de website van het CETO¹⁴⁰.

3.1. Fotovoltaïsche zonne-energie¹⁴¹

Fotovoltaïsche zonne-energie (PV) was de afgelopen tien jaar de snelst groeiende technologie voor elektriciteitsopwekking ter wereld. In alle scenario's voor een klimaatneutraal energiesysteem¹⁴² wordt fotovoltaïsche zonne-energie centraal gesteld. In de recente mededeling over de EU-strategie voor zonne-energie¹⁴³ wordt opgeroepen tot ongeveer 450 GWac nieuwe capaciteit voor fotovoltaïsche systemen tussen 2021 en 2030. Gezien de huidige trend om een gelijkstroomcapaciteit van 1,25 tot 1,3 keer de wisselstroomcapaciteit te installeren om het gebruik van de aansluiting op het net te optimaliseren¹⁴⁴, zou dit de totale nominale PV-capaciteit in de EU op ongeveer 720 GWp brengen. In de EU-strategie voor zonne-energie worden de belangrijkste knelpunten en belemmeringen voor investeringen aangepakt om de uitrol te versnellen, de voorzieningszekerheid te waarborgen en de sociaaleconomische voordelen van fotovoltaïsche energie in de hele waardeketen te maximaliseren¹⁴⁵. De Europese alliantie voor de zonne-energiesector, een van de concrete initiatieven van de EU-strategie voor zonne-energie, is in oktober 2022 formeel door de Commissie goedgekeurd en heeft tot doel de productietechnologieën voor innovatieve fotovoltaïsche producten en componenten op te schalen¹⁴⁶.

Technologieanalyse: De gemiddelde efficiëntie van modules op basis van siliciumcellen is gestegen van 15,1 % in 2011 tot 20,9 % in 2021¹⁴⁷. Dit is te danken aan het gebruik van groter versneden wafers en efficiëntere zonnecellen, met inbegrip van multi-junctiecellen. Europa beschikt over opmerkelijke expertise en loopt voorop op het gebied van de veelbelovende

¹³⁹ Waterkracht, oceaanenergie, geothermische energie, geconcentreerde zonne-energie en -warmte, koolstofafvang, -gebruik en -opslag, bio-energie, kernenergie.

¹⁴⁰ https://setis.ec.europa.eu/publications/clean-energy-technology-observatory-ceto_en

¹⁴¹ Empirisch onderbouwde analyse van het CETO (Chatzipanagi, A. e.a., waarnemingscentrum voor schone-energietechnologie: *Photovoltaics in the European Union 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Europese Commissie, 2022, doi: 10.2760/812610 JRC130720) tenzij anders vermeld.

¹⁴² Met name de scenario's die worden voorspeld door niet-gouvernementele organisaties zoals Greenpeace, de Energy Watch Group, Bloomberg New Energy Finance, het Internationaal Energieagentschap, het Internationaal Agentschap voor hernieuwbare energie, en door brancheorganisaties uit de zonne-energiesector.

¹⁴³ COM(2022) 221 final ("EU-strategie voor zonne-energie").

¹⁴⁴ Kougias I. e.a., *The role of photovoltaics for the European Green Deal and the recovery plan*, 2021,(doi: [10.1016/j.rser.2021.111017](https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111017)). AC: wisselstroom (*alternating current*); DC: gelijkstroom (*direct current*).

¹⁴⁵ De vlaggenschipacties die in de EU-strategie voor zonne-energie zijn aangekondigd omvatten het Europees zonnedakeninitiatief; het pakket van de Commissie voor vergunningverlening — met inbegrip van een wetgevingsvoorstel, aanbeveling en richtsnoeren; het groot EU-partnerschap voor vaardigheden op het gebied van hernieuwbare onshore-energie, waaronder zonne-energie; en de Europese alliantie voor de zonne-energiesector. In het bijzonder zou het Europees zonnedakeninitiatief de installatie van zonnepanelen op daken verplicht stellen voor i) alle nieuwe openbare gebouwen en bedrijfspanden met een bruikbare vloeroppervlakte van meer dan 250 m² tegen 2026; ii) alle bestaande openbare gebouwen en bedrijfspanden met een bruikbare vloeroppervlakte van meer dan 250 m² tegen 2027; en iii) alle nieuwe woongebouwen tegen 2029. Naar verwachting zullen deze maatregelen samen de investeringen in PV-activa aanmerkelijk doen toenemen en de capaciteit voor de productie van zonne-energie in de EU vergroten.

¹⁴⁶ https://ec.europa.eu/info/news/commission-kicks-work-european-solar-photovoltaic-industry-alliance-2022-oct-11_en

¹⁴⁷ VDMA, *International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV)*, 2022.

technologie van perovskietcellen, waarvoor diverse bedrijven in de EU, zoals Evolar (Zweden), Saule Technologies (Polen) en Solaronix (Frankrijk), momenteel productielijnen opzetten.

De EU-strategie voor zonne-energie¹⁴⁸ heeft tot doel de dalende trend in de publieke en private financiering in de zonne-energiesector om te keren¹⁴⁹. De EU blijft niettemin een sterke innovator op dit gebied, met een aanzienlijk aantal publicaties en octrooiaanvragen in 2017-2019. Duitsland alleen staat op de vijfde plaats in de wereld wat de octrooiering van hoogwaardige uitvindingen op het gebied van zonne-energie betreft.

Analyse van de waardeketen: Zowel productiegegevens als nieuwe investeringsprojecten bevestigen de dominantie van Azië, en met name China, wat betreft de productie van fotonvoltaïsche zonne-energie. Alle extra capaciteit voor de productie van polysilicium van 80 000 ton die begin 2021 werd aangekondigd (op te tellen bij een totale capaciteit van ongeveer 650 000 ton in 2020), alsook de capaciteit voor 118 000 ton die reeds in aanbouw is, wordt in China gebouwd¹⁵⁰. Siliciumzonnecellen, die grotendeels in China worden geproduceerd, zijn goed voor meer dan 95 % van de wereldwijde productie. De EU behoudt niettemin een aanzienlijk aandeel in de sectoren voor de vervaardiging van productieapparatuur (50 %) en omvormers (15 %) van de PV-waardeketen.

Analyse van de mondiale markt: De wereldwijde investeringen in nieuwe opwekking van zonne-energie zijn in 2021 met 19 % gestegen tot 205 miljard USD (242,5 miljard EUR¹⁵¹). In 2021 is de handelsbalans van de EU echter verder verslechterd, omdat de EU meer invoerde terwijl haar uitvoer stabiel bleef en goed was voor 13 % van de wereldwijde uitvoer. De hogere materiaalkosten in veel industriële sectoren in 2021 en 2022 leidden tot een uitzonderlijke en ongekende stijging van de productiekosten voor cellen en modules, waardoor een tienjarige trend van kostenverlaging werd omgebogen. Niettemin is het concurrentievermogen van fotonvoltaïsche zonne-energie verder verbeterd in vergelijking met niet-hernieuwbare elektriciteitsbronnen¹⁵². De opwekking van fotonvoltaïsche elektriciteit is dan ook in steeds meer landen de goedkoopste bron. De stijging van de prijzen van fossiele brandstoffen als gevolg van natuurrampen, ongevallen of internationale conflicten kan deze trend alleen maar versterken.

Concluderend bevestigen de meest recente beschikbare gegevens voor 2021 en 2022 de eerder waargenomen trend¹⁵³. De EU heeft haar positie als een van de grootste markten voor fotonvoltaïsche zonne-energie en als sterke innovator bevestigd, met name op het gebied van opkomende PV-technologieën en -toepassingen (zoals agro-PV, in gebouwen geïntegreerde

¹⁴⁸ Het heeft met name tot doel in het volgende werkprogramma van Horizon Europa een vlaggenschipinitiatief voor onderzoek en innovatie op het gebied van zonne-energie te ontwikkelen, in de voorgestelde Europese alliantie voor de zonne-energiesector een pijler voor onderzoek en innovatie op te zetten en samen met de lidstaten in het kader van de Europese Onderzoeksruimte een gezamenlijke agenda voor onderzoek en innovatie op het gebied van zonne-energie te ontwikkelen.

¹⁴⁹ Meest recente cijfers voor 2018 en 2019.

¹⁵⁰ Jäger-Waldau, Arnulf (2022) *Overview of the Global PV Industry*. In: Letcher, Trevor M. (red.) *Comprehensive Renewable Energy*, 2e uitgave, deel. 1, blz. 130–143. Oxford: Elsevier. Doi. 10.1016/B978-0-12-819727-1.00054-6.

¹⁵¹ Op basis van de gemiddelde wisselkoers van 1,1827 EUR voor 1 USD over het jaar 2021. Zie https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html

¹⁵² Dit komt doordat de aardgas-, olie- en steenkoolprijzen in dezelfde periode veel sneller zijn gestegen. Zie <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-may-2022>

¹⁵³ COM(2021) 952 final (“Vooruitgang op het gebied van het concurrentievermogen van schone-energietechnologieën”).

zonnepanelen en drijvende zonnepanelen). De EU is voor een aantal cruciale onderdelen (wafers, staven, cellen en modules) echter sterk afhankelijk van invoer uit Azië en blijft alleen in de sectoren voor de vervaardiging van productieapparatuur en omvormers (die momenteel te kampen hebben met een knelpunt als gevolg van het tekort aan chips¹⁵⁴) significant aanwezig. Bijkomende knelpunten als gevolg van beperkingen in verband met de betaalbaarheid (met name voor huishoudens met een laag inkomen en kmo's) en buitensporig lange wachttijden (bv. in verband met een tekort aan geschoolde PV-installateurs) hebben nu al gevolgen voor de omvangrijke uitrol van zonnepanelen. De in de EU-strategie voor zonne-energie aangekondigde maatregelen en vlaggenschipacties bieden de grootste mogelijkheden om te investeren in PV-activa en om de capaciteit voor de vervaardiging van zonnepanelen in de EU te ontwikkelen, alsook om de invoer te diversifiëren. Tegelijkertijd heeft de voortdurende technologische vooruitgang in de richting van efficiëntere en duurzamere celontwerpen en vervaardigingsprocessen het mogelijk gemaakt het concurrentievermogen van PV-technologieën verder te verbeteren in vergelijking met niet-hernieuwbare energiebronnen, ondanks dat de grondstofkosten zijn gestegen. Deze elementen versterken de uitgangssituatie voor het stimuleren van zowel de productie als de uitrol in de EU, met inbegrip van innovatieve toepassingen.

3.2. Offshore- en onshore-windenergie¹⁵⁵

Windenergie speelt een centrale rol in het klimaat- en energiebeleid van de EU, aangezien het versnellen van de uitrol van windenergie van essentieel belang is om de doelstellingen van de Europese Green Deal, Fit for 55 en REPowerEU te verwezenlijken. Met REPowerEU wordt opgeroepen tot een snellere installatie van windenergiecapaciteit, met 510 GW aan windenergie die tegen 2030 moet worden geïnstalleerd¹⁵⁶, wat naar verwachting overeen zal komen met een aandeel van 31 % van de geïnstalleerde elektriciteitsproductiecapaciteit in de EU¹⁵⁷.

De EU is sinds 2014 wereldleider wat betreft onderzoek en innovatie op het gebied van windenergie, met overheidsuitgaven ten bedrage van 883 miljoen EUR in de periode 2014-2021, en momenteel is 38 % van alle innovatieve bedrijven in de EU gevestigd, met de grootste bundeling van startende en innovatieve ondernemingen. In 2021 werd echter slechts 11 GW windenergie (10 GW onshore-windenergie; 1 GW offshore-windenergie) in de EU geïnstalleerd en de vooruitzichten voor 2022 liggen nog steeds onder het tempo dat nodig is om de REPowerEU-doelstellingen te verwezenlijken. China gaat momenteel aan de leiding op het gebied van cumulatieve windenergie-installaties, met een capaciteit van 338 GW,

¹⁵⁴ Onderzoeksrapport over EU-chips. [European Chips Survey Report | Interne Markt, Industrie, Ondernemerschap en Midden- en Kleinbedrijf \(europa.eu\)](#).

¹⁵⁵ Empirisch onderbouwde analyse van het CETO (Telsnig, T. e.a., waarnemingscentrum voor schone-energietechnologie: *Wind Energy in the European Union - 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Europese Commissie, 2022, doi:10.2760/855840, JRC130582.), tenzij anders vermeld.

¹⁵⁶ SWD(2022) 230 final ("Implementing the REPower EU Action plan: investment needs, hydrogen accelerator and achieving the bio-methane targets" - uitvoering van het actieplan REPowerEU: investeringsbehoeften, waterstofversneller en verwezenlijking van de doelstellingen inzake biomethaan). Beschikbaar op: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022SC0230&from=EN>

¹⁵⁷ SWD(2022) 230 final (volgens PRIMES-modelleringsprognoses van de geïnstalleerde nettocapaciteit in REPowerEU in 2030), figuur 3: Geïnstalleerde nettocapaciteit in REPowerEU in 2030 (GWe). Beschikbaar op: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022SC0230&from=EN>

voornamelijk als gevolg van de toegenomen inzet in 2021. In datzelfde jaar bereikte de EU ongeveer 190 GW aan cumulatieve geïnstalleerde capaciteit.

Om de REPowerEU-doelstellingen te verwezenlijken, zal het versnellen van de inzet van windenergie van cruciaal belang zijn en duidelijke investeringstrajecten vereisen, evenals het omzetten van politieke doelstellingen in concrete uitvoeringsmaatregelen, zoals het aangaan van verbintenissen om het verlenen van vergunningen voor windmolenparken te vergemakkelijken.

Technologieanalyse: In 2021 bedroeg de totale wereldwijd geïnstalleerde onshore-windcapaciteit 769 GW, bijna drie keer meer dan tien jaar daarvoor¹⁵⁸, met alleen al in 2021 72 GW aan geïnstalleerde capaciteit. 2021 was ook een recordjaar voor offshore-windenergie, met 21 GW aan wereldwijd nieuw geïnstalleerde capaciteit, een ruime verdrievoudiging ten opzichte van het vorige record in 2020. In 2021 bedroeg de totale wereldwijd geïnstalleerde capaciteit 55 GW¹⁵⁹. China leidde de toename van de wereldwijd geïnstalleerde capaciteit met 30,6 GW aan onshore-windcapaciteit en 16,9 GW aan offshore-windcapaciteit die in 2021 werd geïnstalleerd.

De EU had eind 2021 een totale geïnstalleerde onshore-windcapaciteit van 173 GW en een totale geïnstalleerde offshore-windcapaciteit van ongeveer 16 GW. De totale windcapaciteit kwam overeen met ongeveer 14 % van het totale elektriciteitsverbruik van de EU. In 2021 werd ook de op één na hoogste jaarlijkse bijdrage van onshore-windcapaciteit in de EU sinds 2010 waargenomen (jaarlijkse uitrol van 10 GW¹⁶⁰). In 2021 werd in de EU echter slechts 1 GW aan offshore-windenergie ingezet¹⁶¹. Marktdeelnemers uit de industrie wijzen op de verlening van vergunningen als een van de belangrijkste knelpunten voor de voortdurende en grootschalige uitrol van windenergie, omdat die leidt tot vertragingen en minder voltooidde projecten. Dit zet op zijn beurt de winstgevendheid van de toeleveringsketen onder druk. De Commissie heeft in het kader van het REPowerEU-pakket wetgevingsvoorstellen gedaan en richtsnoeren uitgegeven om de vergunningverlening te versnellen.

Analyse van de waardeketen: De windenergiesector is uitgegroeid tot een mondiale industrie met ongeveer 800 productiefaciliteiten. De meeste daarvan staan in China (45 %) en Europa (31 %)¹⁶². De EU blijft het voortouw nemen met hoogwaardige octrooien op het gebied van windenergietechnologieën: haar aandeel hoogwaardige uitvindingen bedroeg 59 % in 2017-2019. Windturbineproducenten in de EU blijven een voortrekkersrol vervullen als het gaat om kwaliteit, technologische ontwikkeling en investeringen in onderzoek en innovatie. De Europese windenergiesector beschikt ook over een hoge productiecapaciteit wat betreft onderdelen met een grote meerwaarde (masten, tandwielkasten en wieken) en voor apparaten die ook door andere industriële sectoren kunnen worden gebruikt (bv. generatoren, energieomvormers en regelsystemen). De onderdelen van de waardeketen van de EU voor de productie van offshore-windenergie zijn voornamelijk afkomstig van fabrikanten in de EU. Voor onshore-windenergie daarentegen betrekken de fabrikanten van originele uitrusting

¹⁵⁸ *Renewable Capacity Statistics 2022*, Irena, Abu Dhabi, 2002.

¹⁵⁹ *Renewable Capacity Statistics 2022*, Irena, Abu Dhabi, 2002.

¹⁶⁰ *Wind Energy in Europe: 2021 Statistics and the outlook for 2022-2026*, WindEurope, België, 2022.

¹⁶¹ *Wind Energy in Europe: 2021 Statistics and the outlook for 2022-2026*, WindEurope, België, 2022.

¹⁶² Gevolgd door India (7 %), Brazilië (5 %) en Noord-Amerika (4,5 %). Zie ook: WindEurope/Wood Mackenzie, *Wind energy and economic recovery in Europe*, België, 2020.

(*Original Equipment Manufacturer* — OEM) in de EU hun onderdelen bij veel verschillende leveranciers in het buitenland.

Veel van de grondstoffen voor generatoren worden voornamelijk uit China ingevoerd. Mogelijke moeilijkheden bij het verhogen van de productie van grondstoffen om de doelstellingen voor 2030 te halen, kunnen problemen opleveren voor de Europese windenergiesector. Ook de stijging van de prijzen van hulpbronnen in 2021 en de onzekerheid in de voorziening vormen een belemmering. De industrie heeft ook milieubezwaren doen rijzen met betrekking tot de recycling van composietwieken. Onderzoeksprogramma's inzake windenergie op zowel nationaal niveau als dat van de EU zijn daarom steeds meer gericht op circulariteit.

Analyse van de mondiale markt: De EU heeft de afgelopen tien jaar een positieve handelsbalans met de rest van de wereld gehandhaafd, variërend van 1,8 tot 2,8 miljard EUR. Sinds 2018 heeft de EU echter een negatieve handelsbalans met China en met India. De Chinese OEM's hebben in 2020 voor het eerst hun tegenhangers in de EU overtroffen, gemeten aan het wereldwijde marktaandeel. Op de belangrijkste markten van de EU bevindt zich echter een aanzienlijk aantal binnenlandse producenten¹⁶³.

Concluderend kan worden gesteld dat de Europese windenergiesector wereldleider blijft op het gebied van onderzoek en innovatie, en hoogwaardige octrooien. Dit is te danken aan de productiecapaciteit, de arbeidskrachten en de vaardigheden waarover zij beschikt. De industrie zal de huidige jaarlijks geïnstalleerde capaciteit in de EU echter meer dan moeten verdubbelen om de doelstellingen voor 2030 te verwezenlijken.

De uitvoering van de richtlijn hernieuwbare energie¹⁶⁴, het recente voorstel tot wijziging ervan¹⁶⁵ en de desbetreffende aanbeveling en richtsnoeren van de Commissie van 2022¹⁶⁶ zullen naar verwachting de belangrijkste met vergunningen verband houdende belemmeringen voor de uitrol wegnemen. Ook indien vooraf duidelijk wordt aangegeven welke plannen de lidstaten hebben voor de installatie van windturbines, kan toekomstige capaciteit tijdig worden voorbereid. Tegelijkertijd zal onderzoek en innovatie op het gebied van circulariteit de industrie vooruithelpen door milieubezwaren en verstoringen in de voorziening aan te pakken en aldus het concurrentievermogen van de Europese windenergiesector te verbeteren.

3.3. Warmtepompen voor toepassingen in gebouwen

Op EU-niveau worden warmtepompen in toenemende mate ondersteund in het kader van de Europese Green Deal, het pakket Fit for 55 en het REPowerEU-plan¹⁶⁷. In het REPowerEU-plan wordt opgeroepen tot een verdubbeling van de huidige uitrol van individuele warmtepompen, hetgeen zou leiden tot een totale uitrol van 10 miljoen warmtepompen in de komende vijf jaar en 30 miljoen tegen 2030, en gepaard zou gaan met de opschaling van de

¹⁶³ WindEurope/Wood Mackenzie, *Wind energy and economic recovery in Europe*, 2020.

¹⁶⁴ PB L 328 van 21.12.2018. Richtlijn (EU) 2018/2001 van 11 december 2018 ter bevordering van het gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen.

¹⁶⁵ COM(2021) 557 final ("Voorstel voor een richtlijn van het Europees Parlement en de Raad tot wijziging van Richtlijn (EU) 2018/2001 van het Europees Parlement en de Raad, Verordening (EU) 2018/1999 van het Europees Parlement en de Raad en Richtlijn 98/70/EG van het Europees Parlement en de Raad wat de bevordering van energie uit hernieuwbare bronnen betreft, en tot intrekking van Richtlijn (EU) 2015/652 van de Raad").

¹⁶⁶ SWD(2022) 0149 final ("Richtsnoeren voor de lidstaten inzake goede praktijken om de vergunningsprocedures voor hernieuwbare-energieprojecten te versnellen").

¹⁶⁷ COM(2022) 230 final ("REPowerEU Plan").

productiecapaciteit van de EU. Ook wordt erin opgeroepen tot een snellere uitrol van grote warmtepompen in stadsverwarmings- en -koelingsnetwerken. De grootschalige gezamenlijke uitrol van zowel zonnepanelen op daken (en thermische zonne-energie) als warmtepompen, met slimme bediening die reageert op de netbelasting en op prijssignalen, zou bijdragen tot het koolstofvrij maken van verwarming en de uitdagingen op het gebied van netintegratie verminderen.

Technologieanalyse: Warmtepompen voor toepassingen in gebouwen zijn in de handel verkrijgbare producten. Zij kunnen worden ingedeeld naar de bron waaruit zij thermische energie winnen (lucht, water of bodem), het medium waarop zij de warmte overdragen (lucht of water), het doel ervan (verwarming of koeling van een ruimte, waterverwarming voor huishoudelijk gebruik) en marktsegmenten (bedrijfspannen of woongebouwen, en netwerken).

Met betrekking tot warmtepompen die voornamelijk worden gebruikt voor verwarming van ruimten en sanitair water, bedroeg de voor deze sector gemeten geïnstalleerde voorraad eind 2021 bijna 17 miljoen eenheden in Europa, terwijl de verkoop in 2021 uitkwam op 2,18 miljoen eenheden, een samengestelde jaarlijkse groei van 17 % in de afgelopen vijf jaar en 20 % in de afgelopen drie jaar¹⁶⁸.

Activiteiten op het gebied van onderzoek en innovatie voor individuele warmtepompen worden ingegeven door de vraag naar efficiëntere, compactere en stillere eenheden; grotere omgevingstemperatuurbereiken; digitalisering met het oog op optimale integratie met energienetten; en lokale energieopwekking en -opslag. Zij worden ook gestuurd door veranderende EU-regelgeving voor meer energie-efficiëntie en een lager milieueffect tijdens de levenscyclus, met inbegrip van de circulariteit van materialen en koelmiddelen met een laag aardopwarmingsvermogen (GWP). Met onderzoek en innovatie op het gebied van commerciële warmtepompen wordt bijvoorbeeld aandacht besteed aan de integratie van gelijktijdige levering van warmte en koude met warmteopslag.

De positie van de EU op het gebied van onderzoek en innovatie is sterk en wordt steeds beter. Zij gaat voorop met octrooien voor warmtepompen “voornamelijk voor verwarmingstoepassingen” in gebouwen. In 2017-2019 werd 48 % van de octrooien voor “hoogwaardige uitvindingen” in de EU aangevraagd, gevolgd door Japan (12 %), de Verenigde Staten (8 %), Korea (7 %) en China (5 %)¹⁶⁹. In 2014-2022 is in het kader van Horizon 2020 in totaal 277 miljoen EUR aan financiering verstrekt voor projecten op het gebied van warmtepompen voor toepassingen in gebouwen.

Analyse van de waardeketen: De omzet van de vervaardiging, de installatie en het onderhoud van warmtepompen in de EU bedroeg in 2020 41 miljard EUR en is de afgelopen drie jaar met gemiddeld 21 % per jaar gestegen. In 2020 steeg het aantal directe en indirecte banen naar 318 800, een gemiddelde jaarlijkse groei van 18 % in de afgelopen drie jaar. Deze gegevens omvatten alle soorten warmtepompen, met inbegrip van lucht/lucht-warmtepompen die worden gebruikt voor koeling en/of voor verwarming¹⁷⁰.

¹⁶⁸ Europese warmtepompvereniging (EHPA), 2022, <https://www.ehpa.org/market-data/>

¹⁶⁹ Lyons, L. e.a., waarnemingscentrum voor schone-energie technologie: *Clean Energy Technology Observatory Heat Pumps in the European Union - 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Europese Commissie, 2022, JRC130874.

¹⁷⁰ Op basis van gegevens van EurObserv'ER, 2020.

Hoewel voor de productie ervan geen kritieke grondstoffen nodig zijn, worden warmtepompen wel getroffen door het huidige wereldwijde tekort aan halfgeleiders.

Analyse van de mondiale markt: In de EU bestaat de waardeketen van warmtepompen “voornamelijk voor verwarmingstoepassingen” uit vele kmo’s en enkele grote spelers. Het aandeel ingevoerde warmtepompen neemt toe en in 2021 bedroeg het handelstekort 390 miljoen EUR, in tegenstelling tot het overschot van 202 miljoen EUR van vijf jaar eerder¹⁷¹. De invoer uit China verdubbelde in 2021 tot 530 miljoen EUR.

Kortom, de uitrol van warmtepompen verloopt al in een hoog tempo, maar moet nog verder worden versneld om de REPowerEU-doelstellingen te verwezenlijken. In de EU gevestigde leveranciers moeten hun productie opvoeren om voordeel te trekken uit de groeiende vraag naar warmtepompen in de EU. Sommige brancheorganisaties voeren aan dat een snellere uitfasering van koelmiddelen met een hoog GWP de opschaling voor specifieke toepassingen zou vertragen, maar de in het voorstel tot wijziging van de F-gasverordening¹⁷² genoemde data van ingang van het verbod zijn bedoeld om de industrie voldoende tijd te geven om zich aan te passen. Een gebrek aan opgeleide installateurs en hoge aanloopkosten kunnen de uitrol in de EU vertragen.

De industrie pleit voor een “Heat Pump Accelerator”-platform, waarmee de Commissie, de lidstaten en de sector zelf zouden worden samengebracht. Het platform zou worden ondersteund door duidelijke en aanhoudende beleidssignalen die voor vertrouwen in langetermijnplanning zouden zorgen; een gunstig regelgevingskader waarborgen; de kosten verlagen door meer samenwerking en onderzoek en innovatie; en een pact voor vaardigheden ontwikkelen dat is gericht op warmtepompen. De Commissie zal in het kader van het REPowerEU-plan de lidstaten bijstaan in hun inspanningen om hun overheidsmiddelen te bundelen via potentiële belangrijke projecten van gemeenschappelijk Europees belang die zijn gericht op baanbrekende technologieën en innovatie in de waardeketen van warmtepompen; en om in het kader van het vaardighedenpact een grootschalig partnerschap voor vaardigheden op te zetten.

3.4.Batterijen

Batterijen zullen een cruciale rol spelen bij de verwezenlijking van de doelstellingen van de Europese Green Deal en de uitvoering van het REPowerEU-plan¹⁷³, omdat zij de afhankelijkheid van de invoer van brandstoffen in de vervoersector kunnen verminderen, een maximaal gebruik van hernieuwbare elektriciteit kunnen waarborgen en beperkingen kunnen verminderen. Naar verwachting zullen tegen 2030 meer dan 50 miljoen elektrische voertuigen op de Europese wegen rijden¹⁷⁴ (met ten minste 1,5 TWh aan batterijen) en meer dan 80 GW/160 GWh aan stationaire batterijen¹⁷⁵. De EU evolueert geleidelijk naar emissievrije nieuwe auto’s tegen 2035, in overeenstemming met de doelstelling van een volledig Europees wagenpark van 270 miljoen voertuigen die tegen 2050 emissievrij (meestal elektrisch) moeten

¹⁷¹ COMEXT, code 841861.

¹⁷² COM(2022) 150 final (“Voorstel voor een verordening betreffende gefluoreerde broeikasgassen, tot wijziging van Richtlijn (EU) 2019/1937 en tot intrekking van Verordening (EG) nr. 517/2014”).

¹⁷³ COM(2022) 230 final (“REPowerEU Plan”).

¹⁷⁴ *Policy scenarios for delivering the European Green Deal*, Europese Commissie, 2021. Beschikbaar op: https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/energy-modelling/policy-scenarios-delivering-european-green-deal_en

¹⁷⁵ *Policy scenarios for delivering the European Green Deal*, Europese Commissie, 2021. Beschikbaar op: https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/energy-modelling/policy-scenarios-delivering-european-green-deal_en

zijn. E-mobiliteit is de belangrijkste drijvende kracht achter de vraag naar batterijen. Lithium-ionbatterijen zullen naar verwachting de markt tot ver na 2030 domineren, maar tegelijkertijd worden andere technologieën ontwikkeld.

Technologieanalyse: Ondanks verstoringen in de toelevering van chips en magnesium heeft de uitrol van batterijtechnologie in de EU historische hoogtes bereikt: in 2021 werden 1,7 miljoen nieuwe elektrische voertuigen verkocht, waarmee een marktaandeel van 18 % werd bereikt (tegenover 3 % in 2019 en 10,5 % in 2020¹⁷⁶) en waarmee de EU het beter deed dan China (16 %). Op lidstaatniveau varieerde de verkoop van elektrische voertuigen van 1,3 % in Cyprus tot 45 % in Zweden. De EU-markt voor stationaire batterijen groeit ook snel en zal naar verwachting eind 2022 uitkomen op 8 GW/13,7 GWh¹⁷⁷. Een verdere versnelling is echter nodig om de afhankelijkheid van gascentrales voor piekbelasting te verminderen, in overeenstemming met de doelstellingen van REPowerEU.

In 2021 daalde de gemiddelde batterijprijs met 6 % tot ongeveer 116 EUR/kWh¹⁷⁸ op de wereldmarkt en tot ongeveer 150 EUR/kWh op de EU-markt. Hiermee wordt een langetermijntrend voortgezet. Door de prijsstijgingen in 2022 als gevolg van schokken aan de aanbodzijde is de trend thans aan het keren (zo was de prijs van lithiumcarbonaat in het voorjaar van 2022 met 974 % gestegen ten opzichte van 2021¹⁷⁹). Batterijpacks zullen in 2022 ten minste 15 % duurder zijn dan in 2021¹⁸⁰. De systeemkosten van lithium-ionbatterijen voor toepassingen op netschaal bedroegen in 2021 ongeveer 350 EUR/kWh¹⁸¹ en waren voor huisopslagsystemen ruwweg dubbel zo hoog.

Analyse van de waardeketen: Bijna de gehele massaproductie van lithium-ionbatterijen in de EU werd in 2021 nog steeds uitgevoerd door in de EU gevestigde (Hongarije en Polen) Aziatische fabrikanten. De bouw van nieuwe gigafabrieken zal ervoor zorgen dat de EU (met name Duitsland en Zweden) geleidelijk belang op de markt wint. Het Zweedse Northvolt produceerde eind 2021 zijn eerste batterijcel van 100 % gerecycled nikkel, mangaan en kobalt en begon in 2022 met commerciële leveringen. Het bedrijf zegt een zeer efficiënt recyclingproces te hebben waarbij tot 95 % van de metalen van batterijen wordt teruggewonnen¹⁸².

De EU zal naar verwachting eind 2022 meer dan 75 GWh¹⁸³ aan geïnstalleerde productiecapaciteit bereiken (tegenover 44 GWh medio 2021). Uit de lopende projecten blijkt dat de EU op schema ligt om te voorzien in 69 % van de vraag naar batterijen tegen 2025 en

¹⁷⁶ Vereniging van Europese Automobielfabrikanten (ACEA), februari 2022, <https://www.acea.auto/fuel-pc/fuel-types-of-new-cars-battery-electric-9-1-hybrid-19-6-and-petrol-40-0-market-share-full-year-2021/>

¹⁷⁷ European Market Monitor on Energy Storage, zesde uitgave (EMMES 6.0), <https://ease-storage.eu/publication/emmes-6-0-june-2022/>

¹⁷⁸ BloombergNEF, *Battery Pack Prices Fall to an Average of \$132/kWh*, 30 november 2021. Wisselkoers 0,8826 EUR voor 1 USD op 30 november 2021.

¹⁷⁹ Energy Storage News, *BloombergNEF predicts 30% annual growth for global energy storage market to 2030*, 4 april 2022.

¹⁸⁰ IEA, *Global EV outlook 2022*, 2022.

¹⁸¹ Gebaseerd op de workshop “How high can battery costs get?” van Aurora Energy Research van 21 april 2022.

¹⁸² NorthVolt.com, “Northvolt produces first fully recycled battery cell”, 12 november 2021.

¹⁸³ Met inbegrip van LG Chem (Polen): 32 GWh; Samsung SDI (Hongarije): 20 GWh; Northvolt (Zweden): 16 GWh; SK Innovation (Hongarije): 7,5 GWh ([Benchmark Minerals: Europe's EV gigafactory capacity pipeline to grow 6-fold to 789.2 GWh to 2030 - Green Car Congress](#)). Andere producenten, zoals SAFT, MES en Leclanché, leveren een bijdrage met kleinschalige capaciteit, maar zijn hun productievolume aan het verhogen.

89 % in 2030¹⁸⁴. Dit is grotendeels te danken aan de initiatieven van de Europese alliantie voor batterijen¹⁸⁵.

Het segment van de toelevering van grondstoffen blijft het minst veerkrachtige in de waardeketen voor batterijen. Ondanks diverse EU-initiatieven is het tekort in de bevoorrading van grondstoffen voor batterijen in 2021 toegenomen¹⁸⁶. Gebruikte batterijen worden nog steeds voornamelijk naar Azië gestuurd om daar te worden gerecycled¹⁸⁷.

De EU maakt snelle vorderingen op het gebied van lithiumiontechnologie (met name het best presterende onderdeel NMC¹⁸⁸), maar boekt te langzaam vooruitgang op het gebied van stationaire-batterijtechnologieën, die gebaseerd zijn op ruim beschikbare grondstoffen (bv. flowbatterijen en natrium-ionbatterijen — deze laatste hebben, onder meer gezien de ontwikkelingen in China, ook een goed potentieel voor elektrische voertuigen). De EU is ook langzamer met het omarmen van de goedkopere lithium(ion)-ijzer-fosfaat-technologie (LFP), die steeds vaker wordt gebruikt in Azië en minder afhankelijk is van kritieke grondstoffen.

Analyse van de mondiale markt: China beschikt over 80 % van de wereldwijde capaciteit voor het raffineren van grondstoffen voor lithium-ionbatterijen, 77 % van de productiecapaciteit voor cellen en 60 % van de productiecapaciteit voor batterijcomponenten¹⁸⁹. Het handelstekort van de EU op het gebied van lithium-ionbatterijen bleef in 2021 groeien en kwam uit op 5,3 miljard EUR¹⁹⁰ (een stijging van 25 % ten opzichte van 2020). De EU is goed voor ongeveer 19 % van de wereldwijde productie van elektrische voertuigen¹⁹¹, maar heeft slechts een gering deel van de stroomopwaartse toeleveringsketen (met uitzondering van de verwerking van kobalt). De productie en inzet van elektrische bussen in de EU (eind 2021 waren er 7 356 e-bussen in omloop) is onbeduidend in vergelijking met China, waar meer dan 90 % van het wereldwijde bestand van 670 000 e-bussen zich bevindt¹⁹².

Concluderend kan worden gesteld dat de EU steeds verder bouwt aan de hoognodige technologische capaciteit voor goedkopere opslag/opslag op langere termijn (bv. natriumiontechnologie; op zink gebaseerde technologie; flowbatterijen) en neemt een sterke positie in op het gebied van eindproducten (met name de productie en inzet van elektrische voertuigen, met uitzondering van het segment elektrische bussen). Wat de productie van cellen met Li-iontechnologie betreft, maakt de EU ook een snelle inhaalslag en ligt ze op schema om tegen 2030 bijna zelfvoorzienend te zijn op het vlak van batterijproductie. Het gebrek aan binnenlandse grondstoffen en productie van geavanceerde materialen blijft ondanks de lopende initiatieven een hardnekkig probleem. De EU wil haar inspanningen opvoeren om deze uitdagingen aan te pakken, van winning tot raffinage, en van verwerking tot recycling, bijvoorbeeld met de aangekondigde Europese wet inzake kritieke grondstoffen.

¹⁸⁴ EIT InnoEnergy, *Contribution for High-Level ministerial meeting on batteries*, februari 2022.

¹⁸⁵ [Europese alliantie voor batterijen \(europa.eu\)](https://europa.eu/europa/nl/europa-alliantie-voor-batterijen).

¹⁸⁶ EIT InnoEnergy, *Contribution for High-Level ministerial meeting on batteries*, februari 2022.

¹⁸⁷ EBA250, het programma voor industriële ontwikkeling van de Europese alliantie voor batterijen, <https://www.eba250.com/>

¹⁸⁸ NMC = nikkel, mangaan en kobalt (*Nickle Manganese Cobalt*).

¹⁸⁹ Willuhn M., *National lithium-ion battery supply chains ranked*, PV Magazine, 16 september 2020.

¹⁹⁰ Gegevens van COMEXT 2022.

¹⁹¹ Op basis van de productiegegevens voor 2021 van Prodcom voor de EU, en gegevens van het IEA over de wereldwijde verkoop van elektrische voertuigen in 2021.

¹⁹² EV Outlook 2022 van het IEA.

3.5. Productie van hernieuwbare waterstof door waterelektrolyse

Hernieuwbare waterstof¹⁹³ heeft een groot potentieel om bij te dragen aan de klimaat- en energiedoelstellingen van de EU. Ze kan worden gebruikt als brandstof voor sectoren die moeilijk te elektrificeren zijn (bv. langeafstandsvervoer en zwaar vervoer); als chemische grondstof (bv. meststoffen en andere chemische stoffen); en in industriële processen (bv. staal- of cementproductie). Waterstof en derivaten daarvan zullen naar verwachting in 2050 weliswaar goed zijn voor 12 % van de wereldwijde energiemix¹⁹⁴, maar hernieuwbare waterstof met behulp van waterelektrolyse is momenteel slechts goed voor 0,1 % van de totale productie in de EU.

Met REPowerEU zijn de beleidsdoelstellingen van de waterstofstrategie van 2020¹⁹⁵ verder versterkt en zijn de streefcijfers voor 2030 voor hernieuwbare en koolstofarme waterstof vastgesteld op 10 Mt binnenlandse productie en 10 Mt invoer (deels in de vorm van ammoniak). De oprichting van een Europese waterstofbank zal de productie en het gebruik van hernieuwbare waterstof versnellen en de noodzakelijke infrastructuur op gecoördineerde wijze helpen ontwikkelen¹⁹⁶.

De Commissie en de toonaangevende fabrikanten van elektrolyse-installaties in de EU hebben zich ertoe verbonden de capaciteit voor de productie van waterstof tegen 2025 te vertienvoudigen tot 17,5 GW¹⁹⁷. Bovendien hebben de lidstaten in hun nationale herstel- en veerkrachtplannen ongeveer 10,6 miljard EUR toegewezen aan waterstoftechnologieën en heeft de Commissie in 2022 (juli en september) twee belangrijke projecten van gemeenschappelijk Europees belang goedgekeurd, voor 5,4 en 5,2 miljard EUR aan investeringen, waarbij respectievelijk 15 en 13 lidstaten zijn betrokken.

Technologieanalyse: Van de wereldwijde capaciteit van 300 MW in 2020¹⁹⁸ was Europa (met inbegrip van het Verenigd Koninkrijk en de EVA-landen) goed voor 135 MW aan geïnstalleerde capaciteit in 2021. Elektrolyse-installaties die werken met een protonuitwisselingsmembraan (*Proton Exchange Membrane* — PEM) en alkaline-elektrolyse-installaties maken respectievelijk 55 % en 44 % uit van de geïnstalleerde capaciteit die op Europees grondgebied wordt ingezet (met inbegrip van de EVA-landen en het Verenigd Koninkrijk)¹⁹⁹.

De genormaliseerde elektriciteitskosten zijn de belangrijkste factor die van invloed is op de economische levensvatbaarheid van de investeringen in elektrolyse-installaties en de stijgende elektriciteitsprijzen blijven een van de belangrijkste uitdagingen voor de economische levensvatbaarheid van een concurrerende productie van elektrolyse-waterstof.

¹⁹³ De Europese Commissie definieert hernieuwbare waterstof als waterstof die wordt geproduceerd met behulp van hernieuwbare elektriciteit of die wordt verkregen uit biomassa die 70 % van de CO₂-emissiereducties oplevert (in vergelijking met fossiele brandstoffen). De Europese Commissie heeft een drempel vastgesteld voor “koolstofarme waterstof” in het pakket inzake het koolstofvrij maken van de waterstof- en gasmarkt van 15 december 2021 (COM (2021) 803 final).

¹⁹⁴ Irena, *Geopolitics of Energy Transformation: the Hydrogen Factor*, Abu Dhabi, 2022.

¹⁹⁵ COM(2020)301 (“Een waterstofstrategie voor een klimaatneutraal Europa”).

¹⁹⁶ Zoals aangekondigd in de toespraak over de Staat van de Unie 2022 van 14 september 2022. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/ov/SPEECH_22_5493

¹⁹⁷ Gezamenlijke verklaring van 5 mei 2022, <https://ec.europa.eu/documents/50014/>

¹⁹⁸ Global Hydrogen Review, IEA, 2021.

¹⁹⁹ *The Clean Hydrogen Monitor*, Hydrogen Europe, 2021.

De kosten van de Europese waterstofproductie op basis van hernieuwbare bronnen variëren van een mediaan (in 2020) van 6,8 EUR/kgH₂ (productie van zonne-energie) tot een mediaan van 5,5 EUR/kgH₂ in (productie van windenergie)²⁰⁰. De kosten van elektrolyse-installaties zullen naar verwachting dalen als gevolg van elektrolyse bij hoge temperatuur: van 2 130 EUR/kW in 2020 tot 520 EUR/kW in 2030. De kostendoelstellingen voor 2030 voor PEM- en alkaline-elektrolyse-installaties bedragen respectievelijk 500 en 300 EUR/kW²⁰¹.

Analyse van de waardeketen: De productiecapaciteit voor waterelektrolyse-installaties in 2021 is geraamd op 2,5 GW/jaar in Europa²⁰². De wereldwijde productiecapaciteit werd geschat op ongeveer 6-7 GW/jaar (ongeveer twee derde alkaline en een derde PEM voor zowel Europese als mondiale markten)²⁰³.

Het productievolume in Europa is lager dan in China en de Verenigde Staten. Naar schatting zijn Chinese ondernemingen goed voor de helft van de wereldwijde productiecapaciteit voor alkalische elektrolyse en hebben Amerikaanse ondernemingen het grootste deel van de productie van PEM-elektrolyse in handen. Europa is toonaangevend met betrekking tot het aantal productiebedrijven en vastoxide-elektrolyse, maar is voor de toelevering van noodzakelijke kritieke grondstoffen afhankelijk van landen als China, Rusland en Zuid-Afrika, en kan slechts 1-3 % van deze grondstoffen intern betrekken²⁰⁴.

Het waterverbruik (momenteel ongeveer 17 l/kgH₂) in verband met de uitrol van meer productie van hernieuwbare waterstof zal de druk op zoetwatervoorraden doen toenemen, zodat nieuwe locaties voor elektrolyse-installaties moeten voldoen aan de kaderrichtlijn water²⁰⁵ om ook knelpunten in de watergerelateerde productie te voorkomen.

Analyse van de mondiale markt: Slechts 0,2 % van de totale Europese vraag naar (niet-hernieuwbare) waterstof van 8,4 miljoen ton wordt geleverd via de internationale handel²⁰⁶. Hoewel de internationale handel in waterstof nog steeds geen realiteit is, zijn er aanzienlijke handelsmogelijkheden voor de toekomstige levering van hernieuwbare waterstof voor de EU, zoals vastgesteld in het REPowerEU-plan.

Concluderend kan worden gesteld dat de EU zonder grotere assemblagesystemen, meer automatisering en schaalvoordelen niet met China kan concurreren op het gebied van alkalinetehnologie.

Momenteel zijn de hoge elektriciteitsprijzen en de afhankelijkheid van de invoer van kritieke grondstoffen, geconcentreerd bij enkele leveranciers, fundamentele zwakke punten in de waardeketens van elektrolyse-installaties in de EU. Er moeten samenwerkingsovereenkomsten op lange termijn worden gesloten. Ook moet er specifiek onderzoek komen naar alternatieven voor de zeldzame metalen en andere kritieke grondstoffen die momenteel nodig zijn voor

²⁰⁰ The Clean Hydrogen Monitor, Hydrogen Europe, 2021.

²⁰¹ Strategic Research and Innovation Agenda 2021-2027, partnerschap voor schone waterstof.

²⁰² Gezamenlijke verklaring van de Europese top over elektrolyse-installaties, Brussel, 5 mei 2022.

²⁰³ BNEF, 2021. Er zij op gewezen dat verschillende bronnen uiteenlopende ramingen van de jaarlijkse productiecapaciteit opleveren.

²⁰⁴ Dolci, F. e.a., waarnemingscentrum voor schone-energietechnologie: *Hydrogen Electrolysis - 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Europese Commissie, 2022, JRC130683.

²⁰⁵ PB L 327 van 22.12.2000. Richtlijn 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid.

²⁰⁶ Hydrogen Europe, Clean Hydrogen Europe, 2021. De jaarlijkse vraag naar waterstof omvat IJsland, Noorwegen, Zwitserland en het Verenigd Koninkrijk.

waterelektrolyse. Bovendien hangt het succes op lange termijn af van een duurzame watervoorziening en voldoende recyclingcapaciteit in de EU, alsook van een alomvattende aanpak om vraag en aanbod aan te trekken. De ondersteuning van de regelgevings- en financieringskaders van de EU, alsook grote investeringen via herstellfinanciering, belangrijk projecten van gemeenschappelijk Europees belang, het cohesiebeleid, Horizon Europa, de Gemeenschappelijke Onderneming “Schone waterstof”²⁰⁷ en het Innovatiefonds zijn van cruciaal belang voor het concurrentievermogen van de sector hernieuwbare waterstof in de EU.

3.6.Hernieuwbare brandstoffen

Technologieën voor hernieuwbare brandstoffen kunnen op korte termijn in aanzienlijke mate bijdragen tot het koolstofvrij maken van het vervoer, en de continuïteit van de energievoorziening en de energiediversificatie waarborgen. In het REPowerEU-plan²⁰⁸ wordt met name biomethaan²⁰⁹ aangemerkt als essentieel voor het diversifiëren van de gasvoorziening in de EU door de productie ervan te verhogen tot twee keer boven het streefdoel van de EU voor 2030, waarmee biomethaan de hoogste prioriteit voor hernieuwbare energie wordt gemaakt.

De wetgevingsvoorstellen in het kader van Fit for 55²¹⁰ zouden leiden tot een aanzienlijke vraag naar hernieuwbare energie in de vervoerssector in 2030, veel hoger dan de streefcijfers voor het aandeel geavanceerde biobrandstoffen en hernieuwbare brandstoffen van niet-biologische oorsprong die in het herziene RED II-voorstel²¹¹ zijn vastgesteld. Dit is toe te schrijven aan het streefcijfer voor broeikasgasemissiereducties van 13 % in het vervoer (die waarschijnlijk niet door elektrificatie alleen zal worden gehaald) en de hogere streefcijfers voor broeikasgasemissiereducties van 40 % en 61 % in de herziene voorstellen voor respectievelijk de verordening inzake de verdeling van de inspanningen²¹² en de richtlijn inzake het emissiehandelssysteem²¹³ (als deze met gelijke bijdragen van het vervoer moeten worden gehaald). In het REPowerEU-plan wordt voorgesteld de vereiste hoeveelheden hernieuwbare brandstoffen verder te verhogen. In tegenstelling tot het wegvervoer, waarvan de decarbonisatie naar verwachting grotendeels zal afhangen van elektriciteit en waterstof²¹⁴, wordt in de voorstellen ReFuelEU Luchtvaart en FuelEU Zeevaart voorgesteld dat

²⁰⁷ De Gemeenschappelijke Onderneming “Schone waterstof” heeft 150,5 miljoen EUR toegewezen, in het kader van het programma Horizon 2020 is 130 miljoen EUR beschikbaar gesteld, en via het Innovatiefonds zijn met 240 miljoen EUR vier projecten ondersteund tot medio 2022.

²⁰⁸ COM(2022) 230 final (“REPowerEU Plan”).

²⁰⁹ Vooral wanneer biomethaan worden geproduceerd uit organisch afval en organische residuen, wat resulteert in een geavanceerde biobrandstof wanneer deze in de vervoerssector wordt gebruikt.

²¹⁰ COM(2021) 550 final (“Fit for 55”: het EU-klimaatstreefdoel voor 2030 bereiken op weg naar klimaatneutraliteit”).

²¹¹ COM(2021) 557 final (“Wijziging van Richtlijn 2018/2001, Verordening 2018/1999 en Richtlijn 98/70/EG wat de bevordering van energie uit hernieuwbare bronnen betreft”).

²¹² COM/2021/555 final (“Voorstel voor een verordening van het Europees Parlement en de Raad tot wijziging van Verordening (EU) 2018/842 betreffende bindende jaarlijkse broeikasgasemissiereducties door de lidstaten van 2021 tot en met 2030 teneinde bij te dragen aan klimaatmaatregelen om aan de toezeggingen uit hoofde van de Overeenkomst van Parijs te voldoen”).

²¹³ COM/2021/551 final (“Voorstel voor een richtlijn van het Europees Parlement en de Raad tot wijziging van Richtlijn 2003/87/EG tot vaststelling van een systeem voor de handel in broeikasgasemissierechten binnen de Unie Besluit (EU) 2015/1814 betreffende de instelling en de werking van een marktstabiliteitsreserve voor de EU-regeling voor de handel in broeikasgasemissierechten en Verordening (EU) 2015/757”).

²¹⁴ De belangrijkste politieke thema's in de sector zijn CO₂-emissienormen en de verordening infrastructuur voor alternatieve brandstoffen (AFIR), voorgesteld in het kader van het pakket “Fit for 55”.

hernieuwbare brandstoffen 5 % en 6,5 % van het totale brandstofverbruik in de lucht- en scheepvaart in de EU zullen leveren^{215, 216}.

Technologieanalyse: Er bestaan wel commerciële trajecten (bv. anaerobe vergisting naar biomethaan, gehydrogeneerde plantaardige olie en de productie van lignocellulose-ethanol), maar er is weinig geïnstalleerde capaciteit (0,43 Mt/jaar) en de geplande productie is beperkt (1,85 Mt/jaar). In de industriële omgeving zijn tal van innovatieve technologieën (bv. vergassing van biomassa met via het Fischer-Tropsch-procedé vervaardigde synthetische brandstoffen, door pyrolyse verkregen brandstoffen en de productie van biomethanol) gedemonstreerd en klaar om in gebruik te worden genomen. Er wordt aanzienlijke vooruitgang geboekt met verschillende technologieën van de volgende generatie. De EU richt haar acties op geavanceerde biobrandstoffen, die voornamelijk zijn gebaseerd op niet-recyclebare afvalstoffen en residuen, en beperkt haar steun voor biobrandstoffen uit voedsel en voedergewassen.

Technologieën voor andere hernieuwbare synthetische brandstoffen (zonnebrandstoffen, microbiële brandstoffen van de tweede generatie en brandstoffen uit micro-algen) bevinden zich voornamelijk nog in de laboratoriumfase. Zelfs voor elektrobrandstoffen zijn de meest geavanceerde technologieën nog niet commercieel vanwege de nog altijd bestaande technologische uitdagingen, de momenteel hoge kosten voor elektrolyse, grote omzettingsverliezen (50 %) en hoge vervoers- en distributiekosten²¹⁷.

Analyse van de waardeketen: De belangrijkste uitdaging voor de marktintroductie van geavanceerde biobrandstoffen is hun concurrentievermogen met bestaande conventionele biobrandstoffen uit landbouwgewassen. De kosten van geavanceerde biobrandstoffen worden geraamd op anderhalf tot drie maal de marktprijs van traditionele biobrandstoffen zoals biodiesel en bio-ethanol (vastgesteld op 50-100 EUR/MWh). Geavanceerde biobrandstoffen vereisen ook hoge kapitaaluitgaven (tot 500 miljoen EUR voor één enkele installatie) en houden verband met de beschikbaarheid van duurzame biomassagrondstoffen. Er is een aanzienlijk potentieel om de kapitaalkosten met 25-50 % en de grondstofkosten met 10-20 % te verlagen, met name door middel van onderzoek en innovatie, grootschalige uitrol en gecombineerde verwerking in bestaande installaties.

In de periode 2010-2021 bedroeg de particuliere durfkapitaalfinanciering van onderzoek en innovatie op het gebied van biobrandstoffen²¹⁸ gemiddeld 250 miljoen EUR per jaar. De VS en Canada domineerden (zij het met verschillende definities van biobrandstoffen), terwijl het aandeel van de EU de afgelopen vijf jaar slechts 6 % bedroeg. De EU neemt echter het voortouw met tweemaal zoveel hoogwaardige octrooien als de VS. China heeft de meeste laag-innovatieve octrooien en het aantal aanvragen voor EU-octrooien neemt toe in de VS en China.

²¹⁵ SWD (2021) 633 final, ("Impact assessment accompanying the Proposal for a Regulation of the European Parliament and the Council on ensuring a level playing field for sustainable air transport") (Effectbeoordeling bij het voorstel voor een verordening van het Europees Parlement en de Raad inzake het waarborgen van een gelijk speelveld voor duurzaam luchtvervoer).

²¹⁶ COM(2021) 562 final ("Voorstel voor een verordening betreffende het gebruik van hernieuwbare en koolstofarme brandstoffen in de zeevaart").

²¹⁷ 50 % voor elektrobrandstoffen. De huidige kosten voor elektrobrandstoffen van 7 EUR/liter zullen naar verwachting dalen tot 1-3 EUR/liter tegen 2050 als gevolg van schaalvoordelen, leereffecten en de verwachte verlaging van de prijs voor hernieuwbare elektriciteit.

²¹⁸ Particuliere investeringen omvatten durfkapitaal, angel- en seed-investeringen, en subsidies. 57 % van de investeringen sinds 2010 werd in de VS gedaan, 28 % in Canada en slechts 10 % in de gehele EU (JRC CETO, verslag "Advanced Biofuels 2022").

Analyse van de mondiale markt: De EU heeft ongeveer 7 % van de waarde van de wereldwijde biobrandstoffenmarkt (ongeveer 105 miljard EUR in 2020) in handen, die voornamelijk wordt gedomineerd door biodiesel van de eerste generatie. De omzet bereikte in 2018 een piek van 14,4 miljard EUR²¹⁹, waarvan het grootste deel in Frankrijk, Duitsland en Spanje werd gegenereerd. In de hele waardeketen in de EU werden 250 000 directe en indirecte banen geschapen. In de EU is ook 29 % van de innovatieve ondernemingen in de wereld gevestigd, terwijl de meeste zich in de VS en Japan bevinden.

De sector geavanceerde biobrandstoffen is pas net in opkomst. Er zijn nog steeds vrij weinig commerciële installaties en de internationale handel is zeer beperkt. De EU is wereldleider met 19 van de 24 operationele commerciële installaties voor geavanceerde biobrandstoffen. De meeste staan in Zweden en Finland (twaalf in totaal)²²⁰.

Alle biobrandstoffen kunnen internationaal worden verhandeld. Het internationale handelsverkeer ervan is echter nog steeds minder omvangrijk dan dat van zijn fossiele tegenhangers, en bestaat amper voor geavanceerde biobrandstoffen. De invoer in de EU van biobrandstoffen neemt sinds 2014 voortdurend toe. In 2021 had de EU een handelstekort voor biobrandstoffen van meer dan 2 miljard EUR, waarbij de invoer voornamelijk afkomstig was uit Argentinië, China en Maleisië. Nederland en Duitsland zijn de grootste producenten in de EU en de grootste exporteurs van biobrandstoffen ter wereld.

Concluderend kan worden gesteld dat, hoewel de geïnstalleerde en geplande productiecapaciteit voor hernieuwbare brandstoffen voor 2030 minimaal is en het potentieel van geavanceerde biobrandstoffen uit duurzame grondstoffen in de EU beperkt is, deze sector niettemin kan bijdragen aan de streefcijfers voor broeikasgasemissiereductie in het kader van Fit for 55 en eventuele vertragingen in de elektrificatie van het vervoer voldoende kan dekken. Er zijn nog enkele technische en economische risico's die moeten worden overwonnen om het potentieel van hernieuwbare brandstoffen in het vervoer ten volle te benutten. De kosten van alle hernieuwbare brandstoffen en in het bijzonder van synthetische brandstoffen zijn nog steeds hoog omdat zij afhankelijk zijn van de prijzen van hernieuwbare energie en waterstof. Toch zijn geavanceerde biobrandstoffen afhankelijk van lokale duurzame biomassa en korte toeleveringsketens die een groot aantal geschoolde banen scheppen, energiearmoede verminderen en het concurrentievermogen van de industrie stimuleren. De EU is de duidelijke marktleider op het gebied van operationele commerciële installaties voor geavanceerde biobrandstoffen en hoogwaardige innovaties. Ondernemingen in de EU behoren momenteel tot de wereldwijde top tien, maar zij dreigen hun technologische leiderschap te verliezen als gevolg van het gebrek aan particuliere financiering. Daarom moet niet alleen rekening worden gehouden met de intern geproduceerde energie, maar ook met het uitvoerpotentieel van onderliggende Europese technologieën.

²¹⁹ Volgens het verslag “Advanced Biofuels” behaalde Frankrijk in 2020 de hoogste omzet (iets meer dan 2 500 miljoen EUR), gevolgd door Duitsland en Spanje (elk ongeveer 1 500 miljoen EUR) en Hongarije, Roemenië en Polen (elk iets minder dan 1 000 miljoen EUR) (zie waarnemingscentrum voor schone-energietechnologie: *Advanced biofuels in the European Union - 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, JRC130727).

²²⁰ In Zweden staan acht installaties, in Finland vier, in Spanje en Italië telkens twee, in Frankrijk en in Nederland één. Buiten de EU hebben de VS twee en China, Indonesië, Japan en Noorwegen elk één installatie (JRC CETO, verslag “Advanced Biofuels 2022”).

3.7.Slimme technologieën voor energiebeheer

In de beleidsvorming op EU- en nationaal niveau is het belang van slimme elektriciteitsnetten de afgelopen jaren duidelijk erkend. In de EU-strategie voor de integratie van energiesystemen van 2020²²¹ werd erkend hoe belangrijk slimme netten zijn voor het verwezenlijken van de doelstellingen van het energie- en klimaatbeleid van de EU. In de herziene verordening inzake de trans-Europese energie-infrastructuur van 2022²²² wordt de uitrol van slimme elektriciteit als prioritair thematisch gebied genoemd²²³. De lidstaten hebben in hun herstel- en veerkrachtplannen het potentieel van digitale oplossingen voor het slimmer maken van elektriciteitsnetten erkend²²⁴. Er wordt vooruitgang geboekt met de elektrificatie en het slimmer maken van het net, maar er is meer nodig om de elektriciteitsinfrastructuur te versterken voor de uitvoering van het REPowerEU-plan. De uitdagingen hebben onder meer betrekking op vermindering, gegevensuitwisseling tussen verschillende spelers, flexibiliteit, interoperabiliteit en technologische paraatheid. Het EU-actieplan voor de digitalisering van het energiesysteem²²⁵ bevat een reeks maatregelen om deze belemmeringen weg te nemen.

Gezien het grote aantal en het brede scala aan slimme energietechnologieën is dit deel voornamelijk gericht op een beoordeling van de relevante technologische en marktontwikkelingen voor slechts drie belangrijke technologieën: i) slimme-meterinfrastructuur; ii) thuisssystemen voor energiebeheer; en iii) slimme laadpalen voor elektrische voertuigen.

i) Slimme-meterinfrastructuur

Systemen voor slimme-meterinfrastructuur²²⁶ bieden veel voordelen voor zowel aanbieders van energiediensten als consumenten, zoals lagere elektriciteitsrekeningen door een beter verbruiksbeheer; betere waarneembaarheid van netten en dus beter beheer van gevallen van niet-beschikbaarheid; lagere kosten voor aanpassingen van netten als gevolg van een beter beheer van elektriciteitspieken; en betere controle door gebruikers dankzij het gebruik van geavanceerde infrastructuur voor gebruikers (d.w.z. slimme toepassingen en webportalen)²²⁷.

De uitrol van slimme bemetering vordert in de EU, maar moet verder worden versneld. In 2020 was slechts 43 % van de consumenten voorzien van een slimme elektriciteitsmeter (wat overeenkomt met ongeveer 123 miljoen eenheden in de EU en het VK)²²⁸. Slimme-

²²¹ COM (2020)299 final (“Energie voor een klimaatneutrale economie: een EU-strategie voor een geïntegreerd energiesysteem”).

²²² PB L 152 van 3.6.2022. Verordening (EU) 2022/869 van het Europees Parlement en de Raad van 30 mei 2022 betreffende richtsnoeren voor trans-Europese energie-infrastructuur, tot wijziging van Verordeningen (EG) nr. 715/2009, (EU) 2019/942 en (EU) 2019/943 en Richtlijnen 2009/73/EG en (EU) 2019/944, en tot intrekking van Verordening (EU) nr. 347/2013.

²²³ De verordening vereist dat projecten voor slimme netten bijdragen tot ten minste twee van de volgende criteria: i) leveringszekerheid; ii) marktintegratie; iii) netwerkveiligheid, flexibiliteit en kwaliteit van de levering; en iv) slimme sectorintegratie.

²²⁴ Europese Commissie, *Recovery and Resilience Scoreboard. Thematic Analysis: Digital public services*, december 2021.

²²⁵ COM (2022)552 final, “Digitalisering van het energiesysteem — EU-actieplan”.

²²⁶ Systemen voor slimme-meterinfrastructuur bestaan uit verschillende onderdelen. Slimme meters vormen het kernonderdeel en worden aangevuld met communicatienetwerken en gegevensbeheersystemen.

²²⁷ *Advanced Metering Infrastructure and Customer Systems, Results from the Smart Grid Investment Grant Program*, Office of Electricity Delivery and Energy Reliability, Amerikaans Ministerie van energie, https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/12/f34/AMI%20Summary%20Report_09-26-16.pdf

²²⁸ Estland, Spanje, Italië, Finland en Zweden: 90 %; Denemarken, Frankrijk, Luxemburg, Malta, Nederland en Slovenië: 70-90 %; Letland en Portugal: 50-70 %; Griekenland, Oostenrijk en het Verenigd Koninkrijk: 20-50 % (Vitiello, S.,

meterinfrastructuur biedt verschillende functies: in de meeste landen verstrekken deze systemen via een meterinterface gedetailleerde informatie over verbruiksgegevens (bv. verbruiksniveau/datum/tijd) en/of informatie over cumulatieve verbruiksgegevens.

Om het volledige potentieel van slimme-meterinfrastructuur te benutten, is verdere integratie nodig met thuissystemen voor energiebeheer en slimme apparaten (waaronder slimme laadpalen voor elektrische voertuigen) en met nieuwe energiediensten.

ii) Thuissystemen voor energiebeheer

De intensiever wordende uitrol van slimme apparaten²²⁹ wijst erop dat thuissystemen voor energiebeheer de hub moeten worden voor de aggregatie, optimalisering en externalisering van gegevens naar derden (bv. energiemakelaars en dienstverleners). De Commissie werkt aan een gedragscode voor fabrikanten van slimme-energieapparatuur, waarin interoperabiliteitseisen en de beginselen voor gegevensuitwisseling tussen apparaten worden vastgesteld; systemen voor de automatisering van woningen en gebouwen; laadpalen voor elektrische voertuigen; aggregators; en distributiesysteembeheerders²³⁰.

De huidige thuisoplossingen voor energiebeheer lopen uiteen van toepassingen van energiemonitoring rechtstreeks bij de afnemer tot white-label-softwareplatforms voor afnemende nutsbedrijven, die later voor eindgebruikers kunnen worden uitgerold. Naast “traditionele” bedrijven met een staat van dienst op het gebied van energie en/of elektronica²³¹, distribueren grote softwarebedrijven zoals Google, Apple en Cisco nu producten voor thuissystemen voor energiebeheer²³². Deze trend benadrukt de groeiende rol van software engineering in apparaten van het internet der dingen (IoT).

De vraag naar thuissystemen voor energiebeheer zal de komende jaren naar verwachting aanzienlijk toenemen. Zo zal de Duitse markt, de grootste nationale markt van thuissystemen voor energiebeheer in de EU, tegen 2027 naar verwachting groeien tot bijna 460 miljoen USD (544 miljoen EUR²³³), en zou de Franse markt van thuissystemen voor energiebeheer tussen 2021 en 2027 een samengesteld jaarlijks groeipercentage van 20,3 % kunnen hebben²³⁴. Dit weerspiegelt de mondiale trends. De mondiale markt van thuissystemen voor energiebeheer werd in 2021 geraamd op 2,1 miljard USD (2,5 miljard EUR²³⁵) en zou tegen 2027 kunnen

Andreadou, N., Ardelean, M. en Fulli, G., *Smart Metering Roll-Out in Europe: Where Do We Stand? Cost Benefit Analyses in the Clean Energy Package and Research Trends in the European Green Deal*, Energies, deel 15, blz. 2340, 2022, <https://doi.org/10.3390/en15072340>

²²⁹ Voorbeelden hiervan zijn slimme thermostaten, slimme stekkers, slimme verlichting en apparaten op basis van gedistribueerde energie zoals zonnepanelen en elektrische voertuigen.

²³⁰ [Support on the development of policy proposals for energy smart appliances | JRC Smart Electricity Systems and Interoperability \(europa.eu\)](#)

²³¹ bv. Fortum (FI), ENEL X (IT), Bosch (DE), NIBE (SE) en Schneider Electric (FR). Verkopers van thuissystemen voor energiebeheer zijn uitgebreid gepresenteerd in het verslag van de Commissie over het concurrentievermogen van 2021 (SWD(2021) 307 final, [Werkdocument van de diensten van de Commissie](#)).

²³² Home van Google, Siri van Apple en de energiebeheerdienst van Cisco zijn voorbeelden van thuissystemen voor energiebeheer.

²³³ In deze paragraaf wordt een gemiddelde wisselkoers van 1,1827 EUR voor 1 USD over het jaar 2021 gebruikt. https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html

²³⁴ Delta-EE, <https://www.delta-ee.com/research-services/home-energy-management/>

²³⁵ In deze paragraaf wordt een gemiddelde wisselkoers van 1,1827 EUR voor 1 USD over het jaar 2021 gebruikt. https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html

groeien tot 6 miljard USD (7 miljard EUR²³⁶) (met een samengesteld jaarlijks groeipercentage van 16,5% gedurende de periode 2022-2027)²³⁷. In dit stadium blijft het echter onduidelijk of thuissystemen voor energiebeheer consumenten alleen zullen helpen om hun verbruik en comfort te optimaliseren, dan wel of zij ook vraagrespons en flexibiliteit op grote schaal mogelijk zullen maken.

iii) Slimme laadpalen voor elektrische voertuigen

Slimme laadpalen voor elektrische voertuigen zullen van cruciaal belang zijn om de synergieën tussen elektrische voertuigen, de opwekking van hernieuwbare energie en netdiensten te maximaliseren. Vanwege het tempo van de uitrol van elektrische voertuigen wordt niet verwacht dat elektrische voertuigen op korte tot middellange termijn een crisis in de vraag naar energie zullen veroorzaken²³⁸, maar zij kunnen wel de belastingskromme veranderen²³⁹. Het effect van slimme laadpalen voor elektrische voertuigen kan groter zijn in regio's en lokale gebieden waar sprake is van een hoge concentratie elektrische voertuigen en een minder robuuste netwerkinfrastructuur. Slimme laadtechnieken voor elektrische voertuigen kunnen balanceringsdiensten voor het net leveren en de inkrimping van de hoeveelheid hernieuwbare energie verminderen, waardoor de behoefte aan aanpassingen van netten afneemt.

Slim opladen omvat een reeks prijsopties en technische laadopties en komt voor in drie vormen: monodirectioneel, voertuigen-naar-net (V1G), bidirectioneel, voertuigen-naar-net (V2G), en voertuig-naar-huis of gebouw (V2H-B). Grote spelers op de markt voor het slim opladen van elektrische voertuigen zijn ABB (Zweden/Zwitserland), Bosch Automotive Service Solutions Inc. (Duitsland), Schneider Electric (Frankrijk), GreenFlux en Alfen N.V. (Nederland), Virta (Finland), Driivz en Tesla (VS).

De mondiale markt voor het slim opladen van elektrische voertuigen is duidelijk in opkomst, met een geschatte waarde van 1,52 miljard USD (1,77 miljard EUR²⁴⁰) in 2020 en een samengesteld jaarlijks groeipercentage van 32,42 % tussen 2021 en 2031²⁴¹. In tegenstelling tot meer ontwikkelde V1G-oplossingen hebben V2G en V2H-B echter nog niet het stadium van brede marktintroductie bereikt, hoewel het aantal proefprojecten en demonstraties toeneemt.

De grootschalige uitrol van slimme oplaadinfrastructuur zal twee uitdagingen met zich meebrengen: ten eerste moet de standaardisering van de communicatie-interfaces tussen

²³⁶ In deze paragraaf wordt een gemiddelde wisselkoers van 1,1827 EUR voor 1 USD over het jaar 2021 gebruikt. https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html

²³⁷ IMARC-groep: *Home Energy Management System Market Size and Share 2022-2027*, <https://www.imarcgroup.com/home-energy-management-systems-market?msclkid=5440b237b02f11ecae445030f049ab37>

²³⁸ Uit simulaties van distributienetten in Duitsland blijkt dat de eisen voor de aanpassing van netten vrij laag zijn tot dat elektrische voertuigen ongeveer 20 % van alle voertuigen uitmaken (VertgeWall, C.M. e.a., *Modelling Of Location And Time Dependent Charging Profiles Of Electric Vehicles Based On Historical User Behaviour*, CIRED 2021 — 26e internationale conferentie en tentoonstelling over elektriciteitsdistributie, 2021).

²³⁹ McKinsey&Company, McKinsey Center for future mobility, *The potential impact of electric vehicles on global energy systems*, 2018.

²⁴⁰ In deze paragraaf wordt een gemiddelde wisselkoers van 1,1827 EUR voor 1 USD over het jaar 2021 gebruikt. https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html

²⁴¹ Transparency market research, *Smart EV Charger Market: 2021 – 2031*, 2021.

oplaadpunten, elektrische voertuigen en het distributienet worden geconsolideerd; ten tweede moet aan een toenemende vraag naar grondstoffen worden voldaan²⁴².

Naar verwachting zal verdere vooruitgang worden geboekt met systemen voor slimme-meterinfrastructuur, thuissystemen voor energiebeheer en slimme laadpalen voor elektrische voertuigen. De uitrol van systemen voor slimme-meterinfrastructuur verloopt trager dan aanvankelijk was beoogd. Verdere integratie met thuissystemen voor energiebeheer en slimme apparaten is nodig om de mogelijkheden van systemen voor slimme-meterinfrastructuur ten volle te benutten. De toenemende aanwezigheid van slimme apparaten moet leiden tot een aanzienlijke toename van de vraag naar thuissystemen voor energiebeheer. De mondiale markt voor het slim opladen van elektrische voertuigen moet ook van de grond komen, maar daarvoor moeten eerst uitdagingen worden overwonnen.

3.8. Belangrijkste bevindingen in verband met andere schone-energietechnologieën

De bovenstaande delen zijn toegespitst op de schone-energietechnologieën en -oplossingen die in 2021 zijn geanalyseerd²⁴³. De andere belangrijke oplossingen voor schone energie die in dit deel worden behandeld, komen aan bod in de begeleidende CETO-verslagen²⁴⁴. Deze technologieën bevinden zich in verschillende ontwikkelingsstadia en ontwikkelen zich in uiteenlopende omstandigheden. Dit betekent dat op elk daarvan specifieke uitdagingen en kansen op het gebied van concurrentievermogen van toepassing zijn.

Waterkracht²⁴⁵ is bijvoorbeeld op grote schaal ingezet in de EU. De geïnstalleerde capaciteit bedroeg in 2021 151 GW, een stijging van +6 GW ten opzichte van 2011, wat overeenkomt met ongeveer 12 % van de netto elektriciteitsproductie in de EU. De 44 GW aan gepompte waterkracht in de EU vertegenwoordigt bijna de volledige capaciteit voor elektriciteitsopslag van de EU en zorgt voor flexibiliteit van het elektriciteitsnet en de wateropslagcapaciteit. Met een verouderende vloot wordt duurzame renovatie van de bestaande waterkrachtcapaciteit steeds belangrijker, en biedt deze tevens de mogelijkheid om de waterkrachtvloot beter bestand te maken tegen klimaat- en marktveranderingen. De EU is een leider op het gebied van onderzoek en innovatie, bezit 33 % van alle hoogwaardige uitvindingen wereldwijd (2017-2019) en herbergt 28 % van alle innovatieve ondernemingen. In een wereldwijd groeiende markt was zij ook goed voor 50 % van alle wereldwijde uitvoer van waterkracht, met een waarde van 1 miljard EUR in de periode 2019-2021. Om haar potentieel volledig te benutten, moet de EU echter de uitdagingen in verband met de maatschappelijke acceptatie en de milieueffecten van nieuwe installaties en reservoirs zien te overwinnen. De gevolgen van de klimaatverandering hebben op verschillende manieren ook gevolgen voor waterkracht in Europa en waterkrachtcentrales kunnen een rol spelen om sommige van deze effecten te verzachten. Het is van essentieel belang de bijkomende voordelen (naast energieopwekking)

²⁴² Grondstoffen zoals roestvrij staal, koper, aluminium, polycarbonaten, elastomeren en polyurethanen voor thermoplasten worden gebruikt voor de vervaardiging van kritieke onderdelen van laadstations voor elektrische voertuigen (behuizingen, kabels, connectoren, kabelisolatie en -mantels, en flexibele leidingen). Silicium en germanium zijn cruciale grondstoffen voor de vervaardiging van elektronische schakelingen en platen.

²⁴³ COM(2021) 952 final (“Vooruitgang op het gebied van het concurrentievermogen van schone-energietechnologieën”).

²⁴⁴ https://setis.ec.europa.eu/publications/clean-energy-technology-observatory-ceto_en

²⁴⁵ Quaranta, E. e.a., waarnemingscentrum voor schone-energietechnologie: *Hydropower and Pumped Hydropower Storage in the European Union - 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Europese Commissie, 2022, JRC130587.

van multifunctionele waterkrachtcentrales te erkennen en duurzamere (d.w.z. minder belastende) waterkrachttechnologieën en -maatregelen te stimuleren.

Oceaanenergie²⁴⁶ wordt in toenemende mate ingezet. Op lange termijn kan oceaanenergie, gezien het potentieel ervan als hulpbron, tot 10 % van de energiebehoeften van de EU bijdragen. In de EU-strategie voor hernieuwbare offshore-energie van 2020²⁴⁷ werden specifieke capaciteitsdoelstellingen voor oceaanenergie voorgesteld met een langetermijndoelstelling van ten minste 40 GW tegen 2050. Ondernemingen in de EU zijn toonaangevend in de sector oceaanenergie waarbij de meeste ondernemingen in EU-landen zijn gevestigd. Zowel binnen als buiten de EU neemt de geïnstalleerde capaciteit steeds verder toe. Individuele apparaten leveren al langere tijd een bijdrage aan het net²⁴⁸. Om technologieën voor golfslag- en getijdenenergie op de elektriciteitsmarkt te kunnen invoeren en te laten concurreren met andere hernieuwbare energiebronnen zijn echter aanhoudende kostenverlagingen nodig en moet duurzaamheid worden gewaarborgd. Ook is voor het uitvoeren van tests en de marktintroductie verdere financiering nodig om de grootschalige inzet ervan mogelijk te maken.

Geothermische²⁴⁹ **energie** is gegroeid voor zowel voor energiecentrales als voor stadsverwarming en -koeling, zij het langzamer dan andere schone-energie technologieën. In 2021 werden in Duitsland twee extra geothermische centrales in gebruik genomen, met een capaciteit van 1 MWe en 5 MWe²⁵⁰, waarmee de totale capaciteit in de EU uitkwam op 0,877 GWe, terwijl de totale geïnstalleerde capaciteit wereldwijd ongeveer 14,4 GWe bedroeg. In 2021 bereikte de total geïnstalleerde capaciteit voor geothermische stadsverwarming en -koeling 2,2 GWth in de EU, met meer dan 262 systemen. De grootste groei vindt plaats in Frankrijk, Nederland en Polen. Verbeterde geothermische systemen brengen nog steeds uitdagingen op het gebied van innovatie met zich mee waarvoor verder onderzoek en innovatie nodig zijn. Het verlagen van het risico om in projecten op het gebied van geothermische energie te investeren is van cruciaal belang om het enorme potentieel van geothermische energie aan te boren. In de EU hebben de belangrijkste uitdagingen betrekking op kostenefficiëntie en milieuprestaties.

Geconcentreerde zonne-energie en -warmte²⁵¹ (CSP) kan een aanzienlijke bijdrage leveren aan elektriciteitsopwekking op plekken met sterke rechtstreekse zonnestraling, maar tot dusver is slechts een fractie van het potentieel ervan benut. In 2021 bedroeg de wereldwijde geïnstalleerde capaciteit ongeveer 6,5 GW, waarvan 2,4 GW in de EU. Er is ook een grote EU-markt voor warmte uit industriële processen, die gedeeltelijk kan worden gebruikt door

²⁴⁶ Met inbegrip van technologieën voor golfslag- en getijdenenergie, zoutgradiëntenergie en de omzetting van thermische oceaanenergie.

²⁴⁷ COM(2020) 741 final ("EU-strategie over de benutting van het potentieel van hernieuwbare offshore-energie met het oog op een klimaatneutrale toekomst").

²⁴⁸ Meygen 1A voor getijdenenergie (VK) loopt sinds april 2018, Mutriku voor golfslagenergie (ES) sinds juli 2011 en Shetland voor getijdenenergie sinds 2016.

²⁴⁹ Bruhn, D. e.a., waarnemingscentrum voor schone-energie technologie: *Deep Geothermal Energy in the European Union-2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Europese Commissie, 2022, JRC130585.

²⁵⁰ European Geothermal Energy Council, (Europese raad voor geothermische energie) *2021 EREC Geothermal Market Report*.

²⁵¹ Taylor, N. e.a., waarnemingscentrum voor schone-energie technologie: *Concentrated Solar Power and Heat in the European Union - 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Europese Commissie, 2022, doi: 10.2760/080204, JRC130811.

systemen voor geconcentreerde zonne-energie. Door dit potentieel voor elektriciteit en proceswarmte met financiële en andere steunmaatregelen te onderzoeken, zou de EU beter het hoofd kunnen bieden aan internationale concurrentie. Dit is met name van belang omdat Chinese organisaties in opkomst zijn als internationale projectontwikkelaars op het gebied van geconcentreerde zonne-energie en -warmte, een gebied waarop ondernemingen in de EU van oudsher toonaangevend zijn geweest. Als het gaat om kostenbesparingen is met geconcentreerde zonne-energie en -warmte aanmerkelijke vooruitgang geboekt, en deze vorm van energie wordt steeds meer gezien als een betrouwbare optie. Europese organisaties spelen een leidende rol op het gebied van onderzoek en technologische ontwikkeling. Onderzoekers in de EU zijn zeer belangrijke uitgevers van wetenschappelijke artikelen en auteurs van hoogwaardige octrooien die de efficiëntie verhogen en de kosten verlagen, zoals uiteengezet in het plan voor de uitvoering van geconcentreerde zonne-energie en -warmte in het kader van het strategisch plan voor energietechnologie (SET-plan)²⁵². Onderzoek en innovatie zal hierbij een belangrijke rol spelen en op EU-niveau zal nog steeds concrete steun worden verleend, zoals aangekondigd in de nieuwe EU-strategie voor zonne-energie.

De vorderingen op het gebied van **koolstofafvang, -gebruik en -opslag** (CCUS) zijn de afgelopen jaren versneld, maar toch is er in de EU maar een gering aantal installaties in bedrijf. Frankrijk, Duitsland en Nederland zijn de koplopers op het gebied van openbare en particuliere investeringen in onderzoek en innovatie, en met het aantal bedrijven dat octrooi aanvraagt. De ontwikkeling van koolstofafvang, -gebruik en -opslag wordt nog steeds belemmerd, vooral met betrekking tot de uitvoering van de regelgeving²⁵³, rendabiliteit, risico's en onzekerheden, en de acceptatie door het publiek. Er zijn elf grootschalige projecten op het gebied van koolstofafvang en -opslag en koolstofafvang en -gebruik geselecteerd voor EU-steun uit het Innovatiefonds.

Bio-energie²⁵⁴ is momenteel goed voor bijna 60 %²⁵⁵ van de aanvoer van hernieuwbare energie in de EU. Bio-energie blijft belangrijk voor de transitie van de energiesectoren in verschillende lidstaten, omdat zij helpt de economie koolstof vrij te maken en tegelijkertijd de energiezekerheid en -diversificatie vergroot. Door de verwachte toename van biomassa is het van belang dat de EU ervoor zorgt dat bio-energie op duurzame wijze wordt verkregen en gebruikt, en dat negatieve gevolgen voor de biodiversiteit en voor koolstofputten en -voorraden worden voorkomen. Het voorstel tot herziening van de richtlijn hernieuwbare energie bevat strengere duurzaamheidscriteria voor bio-energie, alsook de verplichting voor de lidstaten om het beginsel van cascadering toe te passen in hun financiële steunregelingen. Duurzaam geproduceerd biomethaan, op basis van met name organisch afval en organische residuen, kan bijdragen tot de verwezenlijking van de REPowerEU-doelstelling om de EU minder afhankelijk te maken van ingevoerde fossiele brandstoffen. De verplichting om uiterlijk in 2024 organisch afval gescheiden in te zamelen houdt een belangrijke kans in voor de productie van duurzaam biogas de komende jaren. Bio-energie maakt flexibele energieopwekking mogelijk, stabiliseert het elektriciteitsnet en is van groot belang om een groot aandeel variabele hernieuwbare energie, zoals wind- en zonne-energie, in de elektriciteitsnetten mogelijk te maken.

²⁵² https://setis.ec.europa.eu/implementing-actions/csp-ste_en

²⁵³ Bijvoorbeeld de ratificatie van het Protocol van Londen.

²⁵⁴ Motola, V. e.a., waarnemingscentrum voor schone-energietechnologie: *Bioenergy in the European Union - 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Europese Commissie, 2022, JRC130730.

²⁵⁵ Dit cijfer omvat biobrandstoffen, goed voor ongeveer 7 %.

Kernenergie genereert met 103 kernreactoren (101 GWe) in de EU in 2022 ongeveer een kwart van de elektriciteit in de EU en levert ongeveer 40 % van de koolstofarme elektriciteit in de EU²⁵⁶. Kernenergie is naast hernieuwbare energiebronnen opgenomen in het strategische langetermijnplan van de EU voor een klimaatneutrale economie tegen 2050. In het REPowerEU-plan wordt voorts de rol van op kernenergie gebaseerde waterstof bij de vervanging van aardgas bij de productie van fossiele waterstof erkend. De potentiële bijdrage van kernenergie aan de toekomstige koolstofarme energiemix is afhankelijk van onderzoek en innovatie, met steeds veiligere en schonere nucleaire technologieën (zowel conventionele als geavanceerde) tot doel. Verschillende nutsbedrijven en onderzoeksorganisaties uit ten minste zeven EU-lidstaten hebben belangstelling getoond voor nieuwe kleine modulaire kernreactoren²⁵⁷ en brengen ze in verband met koolstofvrije elektriciteit en de productie van niet-elektrische energie, zoals industriële en stadsverwarming en de productie van waterstof. Geïnteresseerde actoren uit het bedrijfsleven en bij de overheid in de EU sturen een proces in de richting van een Europees industriemodel voor de inzet van kleine modulaire kernreactoren in het begin van de jaren 2030.

4. CONCLUSIE

De snelle ontwikkeling en inzet van in de EU ontwikkelde schone-energietechnologieën is essentieel voor een kosteneffectieve, klimaatvriendelijke en sociaal rechtvaardige respons op de huidige energiecrisis.

De EU heeft naar aanleiding van de ongekend hoge energieprijzen snel een reeks maatregelen voorgesteld om **consumenten en bedrijven**, met inbegrip van kwetsbare huishoudens en spelers in de sector schone-energietechnologie, **te beschermen** en ervoor te zorgen dat de klimaat- en energiedoelstellingen voor 2030 en 2050 worden gehaald.

Tegelijkertijd moet de EU zich blijven inzetten om **haar afhankelijkheid van grondstoffen te verminderen en de toelevering ervan op doeltreffende wijze te diversifiëren**, aangezien de stijgende prijzen ervan ernstige gevolgen hebben voor het concurrentievermogen van schone-energietechnologieën. De aangekondigde Europese wet inzake kritieke grondstoffen²⁵⁸ is erop gericht deze ambities te helpen waar te maken. De EU moet ook de **internationale samenwerking verdiepen** en het **tekort aan geschoolde arbeidskrachten** in verschillende segmenten van schone-energietechnologieën **aanpakken**, en tegelijkertijd een genderevenwichtige en gelijke omgeving creëren. Het voorstel om 2023 uit te roepen tot het Europees Jaar van de Vaardigheden is een stap in de richting van een toename van het aantal geschoolde arbeidskrachten.

Meer publieke en particuliere investeringen in onderzoek en innovatie en de opschaling en betaalbare uitrol van schone energie zijn van cruciaal belang. De regelgevings- en financiële kaders van de EU spelen hierbij een cruciale rol. Samen met de uitvoering van de nieuwe Europese innovatieagenda zijn EU-financieringsprogramma's, **nauwere samenwerking** tussen de lidstaten en voortdurend **toezicht op nationale O&I-activiteiten**

²⁵⁶ World Nuclear Association, *Nuclear Power in the European Union*, tabel "EU nuclear power", website geraadpleegd op 14 oktober 2022.

²⁵⁷ Europese Commissie, *Small Modular Reactors and Medical Applications of Nuclear technologies*, Bureau voor publicaties van de EU, Luxemburg, 2022.

²⁵⁸ Zoals aangekondigd door de voorzitter van de Europese Commissie in haar toespraak over de Staat van de Unie van 14 september 2022. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/nl/SPEECH_22_5493

van cruciaal belang om een doeltreffend ecosysteem voor onderzoek en innovatie in de EU op te zetten en de kloof tussen onderzoek en innovatie en de marktintroductie te overbruggen om aldus het concurrentievermogen van de EU te versterken.

In dit verslag wordt bevestigd²⁵⁹ dat **de EU voorop is blijven lopen met onderzoek naar schone energie** en dat de investeringen in onderzoek en innovatie gestaag toenemen (zij het in mindere mate dan vóór de financiële crisis). Op mondiaal niveau blijft de EU een leider op het gebied van “groene” uitvindingen en hoogwaardige octrooien, en vraagt zij wereldwijd de meeste octrooien aan op het gebied van klimaat en milieu (23 %), energie (22 %) en vervoer (28 %). Het mondiale aandeel van de EU in wetenschappelijke publicaties is gedaald, maar wetenschappers in de EU werken samen en brengen internationaal veel sneller publicaties op het gebied van schone energie uit dan het wereldwijde gemiddelde. Daarnaast wordt in de EU op een hoger niveau samengewerkt tussen de overheid en de particuliere sector.

De omzet en de bruto toegevoegde waarde van de sector hernieuwbare energie in de EU zijn sinds 2019 blijven stijgen en de productie van de meeste schone-energietechnologieën en -oplossingen in de EU volgde in 2021 dezelfde trend. Hoewel de EU voor een aantal technologieën, zoals windenergie, een positieve handelsbalans heeft gehandhaafd, is haar handelstekort voor andere technologieën, zoals warmtepompen, biobrandstoffen en zonnepanelen, toegenomen. Deze algemene trend is deels toe te schrijven aan de toenemende vraag naar die technologieën in de EU.

Wat specifieke schone-energietechnologieën betreft, blijkt uit het verslag dat de **windenergiesector** van de EU in 2022 wereldleider blijft op het gebied van onderzoek en innovatie en hoogwaardige octrooien, en een positieve handelsbalans heeft behouden. De concurrentie blijft echter hevig en de windenergiesector zal de huidige ongunstige omstandigheden moeten overwinnen, die tevens het gevolg zijn van de toenemende wereldwijde vraag naar zeldzame aardmaterialen, en verstoringen in de toeleveringsketen. De sector zal zijn huidige jaarlijkse installatiecapaciteit moeten verdubbelen om de REPowerEU-streefcijfers te halen. De EU heeft in 2022 ook haar positie als een van de grootste markten voor **zonnepanelen** en als sterke innovator bevestigd, met name op het gebied van opkomende PV-technologieën. Vanuit het perspectief van de waardeketen loopt de EU nog steeds achter op Azië, met een sterke afhankelijkheid van diverse onmisbare onderdelen. Innovatieve oplossingen en voortdurende technologische vooruitgang bieden extra mogelijkheden voor de uitrol in de EU.

De EU staat voor verschillende technologieën op een kruispunt. Er moeten nog verscheidene uitdagingen worden overwonnen om ze ten volle te kunnen benutten. De sector **warmtepompen** groeit snel, maar moet de uitrol van warmtepompen nog verder versnellen en ervoor zorgen dat de systemen betaalbaar zijn (met name voor huishoudens met een laag inkomen en kmo's), en leveranciers in de EU zullen hun productie moeten opvoeren om hun marktaandeel ten opzichte van derde landen te behouden. Met betrekking tot de productie van batterijen ligt de EU op schema om tegen 2030 bijna zelfvoorzienend te zijn, maar een gebrek aan intern aangekochte grondstoffen en aan capaciteit voor de productie van geavanceerde materialen blijft een uitdaging vormen. Er moet meer aandacht worden besteed aan het vergroten van de recyclingcapaciteit en het tot stand brengen van technologische capaciteit

²⁵⁹ Zoals in de vorige editie:: COM (2021) 952 final en SWD(2021) 307 final (“Vooruitgang op het gebied van het concurrentievermogen van schone-energietechnologieën”).

voor goedkopere opslag/opslag op langere termijn. De EU profiteert voor de productie van waterstof door middel van elektrolyse van haar krachtige alomvattende aanpak om vraag en aanbod aan te trekken. De positie van de waardeketen van de EU varieert (zo loopt zij bij vasteoxide-elektrolyse voorop, maar vormt zij geen concurrentie op het gebied van alkalinetehnologie). De stijging van de elektriciteitsprijzen en de afhankelijkheid van kritieke grondstoffen zijn enkele van de belangrijkste uitdagingen. De EU is de duidelijke marktleider op het gebied van operationele commerciële installaties voor **hernieuwbare brandstoffen** en hoogwaardige innovaties. Hoewel de geïnstalleerde en geplande productie voor 2030 beperkt is, kunnen hernieuwbare brandstoffen bijdragen aan alle emissiereductiedoelstellingen van Fit for 55, mits bepaalde technische en economische risico's worden aangepakt. Innovatie in de **digitale energie-infrastructuur** van de EU zal van cruciaal belang zijn om te garanderen dat het elektriciteitsnet klaar is voor het toekomstige energiesysteem. De vraag naar thuissystemen voor energiebeheer en slimme laadpalen voor elektrische voertuigen trekt aan en zal naar verwachting toenemen en de uitrol van slimme bemetering vordert in de EU (zij het in een lager tempo dan gepland).

Ondanks de veelbelovende positieve trends die het innovatie-ecosysteem van de EU laat zien, zijn over het algemeen verdere inspanningen nodig om structurele belemmeringen en maatschappelijke uitdagingen aan te pakken die op klimaattechnologie gerichte startende en doorgroeïende ondernemingen in de EU meer belemmeren dan in andere grote economieën. Als de EU haar potentieel om wereldleider op het gebied van klimaattechnologie en deep tech te worden wil benutten, moet zij gebruikmaken van haar diverse talenten, intellectuele activa en industriële capaciteiten, en particuliere investeerders ertoe aanzetten actiever deel te nemen aan de financiering van op klimaattechnologie en deep climate tech gerichte startende ondernemingen.

De Commissie zal toezicht blijven houden op de vooruitgang van de sector schone energie en haar methodologie en gegevensverzameling verder ontwikkelen in samenwerking met de lidstaten en belanghebbenden. In dit verband zal de Commissie haar empirisch onderbouwde methode voor toekomstige edities van het voortgangsverslag over het concurrentievermogen actualiseren. Die zal dienen als uitgangspunt voor beleidsbeslissingen en de EU helpen om tegen 2050 concurrerend, hulpbronnefficiënt, veerkrachtig, onafhankelijk en klimaatneutraal te zijn.

BIJLAGE I: METHODOLOGISCH KADER VOOR DE BEOORDELING VAN HET CONCURRENTIEVERMOGEN VAN DE EU²⁶⁰

Deel 1: Algemeen concurrentievermogen van de EU-sector voor schone energie	Deel 2: Schone-energietechnologieën en oplossingen		
Macro-economische analyse (geaggregeerd, per lidstaat en per schone technologie)	1. Technologische analyse: huidige situatie en vooruitzichten	2. Analyse van de waardeketen van de sector energietechnologie	3. Analyse van de mondiale markt
Recente ontwikkelingen - energieprijzen en -kosten: recente ontwikkelingen - uitdagingen op het gebied van duurzaamheid en circulariteit die schone-energietechnologieën met zich mee brengen; afhankelijkheid van (kritieke) grondstoffen van de EU-sector voor schone energie en gevolgen voor het concurrentievermogen van de EU. - impact van COVID-19 en herstel - menselijk kapitaal en vaardigheden	Geïnstalleerde capaciteit, opwekking/productie (vandaag en in 2050)	Omzet	Handel (invoer, uitvoer)
Trends op het gebied van onderzoek en innovatie - publieke en private investeringen in onderzoek en innovatie - octrooiering en hoogwaardige octrooien in de EU en per lidstaat	Kosten / genormaliseerde elektriciteitskosten (LCoE)²⁶¹ (vandaag en in 2050)	Groei van de bruto toegevoegde waarde Jaarvariatie %	Mondiale marktleiders tegenover marktleiders in de EU (marktaandeel)
Het mondiale concurrentieklimaat op het gebied van schone energie	Overheidsfinanciering voor O&I (lidstaten en EU)	Aantal bedrijven in de toeleveringsketen, met inbegrip van marktleiders in de EU	Hulpbronnen-efficiëntie en -afhankelijkheid²⁶²
Het financieringslandschap voor innovatie in de EU (vergeleken met grote economieën)	Particuliere O&I-financiering	Werkgelegenheid in het segment van de waardeketen	
De rol van systemische verandering in de sector schone energie (bv. digitalisering, gebouwen, energiegemeenschappen en subnationale samenwerking)	Trends op het gebied van octrooiering (incl. hoogwaardige octrooien)	Energie-intensiteit/arbeids-productiviteit	
	Niveau van wetenschappelijke	Communautaire productie	

²⁶⁰ De beoordeling is uitgevoerd in nauwe samenwerking met het waarnemingscentrum voor schone-energietechnologie van de Europese Commissie: de gegevens voor deel 1 zijn gerapporteerd in Georgakaki, A. e.a., waarnemingscentrum voor schone-energietechnologie, *Overall Strategic Analysis of Clean Energy Technology in the European Union – Statusverslag 2022*, Europese Commissie, 2022, JRC131001. Voor deel 2 zijn de afzonderlijke technologierapporten beschikbaar op https://setis.ec.europa.eu/publications/clean-energy-technology-observatory-ceto_en

²⁶¹ En, indien beschikbaar, de genormaliseerde opslagkosten (LCoS).

²⁶² Segmenten van de waardeketen die afhankelijk zijn van kritieke grondstoffen.

	publicaties	Jaarlijkse productiewaarden	
--	--------------------	--------------------------------	--