



Arbeidsvraag in de energietransitie



Arbeidsvraag in de energietransitie

Dit rapport is geschreven door: Justen Steenbergen

Delft, CE Delft, juli 2022

Publicatienummer: 22.220181.092

Arbeidsvraag / energietransitie / arbeidsmarktprognoses

Opdrachtgever: CE Delft

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Amanda Bachaus en Martijn Blom (CE Delft).

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Inhoud

	Samenvatting	5
	Afkortingen en definities	6
1	Introductie	7
	1.1 Inleiding	7
	1.2 Probleemstelling & onderzoeksvragen	8
	1.3 Scope	8
	1.4 Doelstelling	9
	1.5 Aanpak	9
	1.6 Leeswijzer	10
2	De Nederlandse energietransitie	11
	2.1 Inleiding in de Nederlandse energietransitie	11
	2.2 Fossiele brandstoffen	11
	2.3 Wind	12
	2.4 Zon	12
	2.5 Waterstof	12
	2.6 Biomassa	12
	2.7 Energiebesparende maatregelen	13
	2.8 Netverzwaring	13
3	Arbeidsvraag in de energietransitie	14
	3.1 Inleiding	14
	3.2 Afbakening korte en lange termijn	14
	3.3 Kortetermijnvraag	15
	3.4 Langetermijnvraageffecten	18
4	Arbeidsaanbod in de energietransitie	20
	4.1 Inleiding	20
	4.2 Buitenlands arbeidsaanbod	20
	4.3 Langetermijnaanbodeffecten	21
5	Spanningen en matching van vraag en aanbod	23
	5.1 Inleiding	23
	5.2 Spanningen op de arbeidsmarkt	23
	5.3 Matching op de arbeidsmarkt	24
6	Het werkgelegenheidsmodel	26
	6.1 Inleiding	26
	6.2 Opbouw werkgelegenheidsmodel	26
	6.3 Uitbreiding werkgelegenheidsmodel	28



7	Arbeidsmarktkwalificatie- en opleidingsniveauper verdeling per technologie	31
	7.1 Inleiding	31
	7.2 Vaardigheden in de energietransitie	31
	7.3 Zonne-energie	33
	7.4 Windenergie op zee	37
	7.5 Windenergie op land	43
	7.6 Waterstof	48
	7.7 Biomassa en biogas	54
	7.8 Energiebesparingsmethoden	59
	7.9 Netverzwaring	63
8	Casestudy: Waterstof	68
	8.1 Inleiding	68
	8.2 Groenvermogen II	68
	8.3 Invulling van de arbeidsvraag	72
	8.4 Conclusie	73
9	Discussie en conclusie	74
	9.1 Discussie	74
	9.2 Conclusie en aanbeveling	75
10	Referenties	76
A	Geïnterviewde partijen	82
B	Mindmap Energietransitie	83

Samenvatting

CE Delft heeft behoefte aan een nauwkeurige arbeidsvraagprognose voor windenergie op zee en land, zonne-energie, biomassa, waterstof, energiebesparingstechnieken en netverzwaring. Het opgeleverde model brengt de hoeveelheid en de aard van de directe vraag naar arbeid in kaart die nodig is om de Nederlandse energietransitie uit te voeren. Zo wordt voor sectoren duidelijk over welk type arbeid zij moeten beschikken om tekorten in de arbeidsmarkt te voorkomen. Tekorten in de arbeidsmarkt kunnen effectiever worden verkleind wanneer er meer transparantie ontstaat over de ontwikkelingen van vraag en aanbod op kwalitatief en kwantitatief gebied. Het model reflecteert dus de benodigde arbeidsmarktcapaciteit om energieprojecten te realiseren.

De arbeidsverdelingen zijn statische verdelingen tussen de relevante beroepsgroepen per fase voor een energietechniek. Daarom moet ter validatie van de data een herhalingsonderzoek worden uitgevoerd, binnen een termijn waarin technologische innovatie plaatsvindt, dat leidt tot arbeidsbesparingen.

In dit rapport wordt het vernieuwde model vervolgens toegepast bij een casus op het gebied van waterstof, namelijk het Groenvermogen II project. Met dit project wordt € 1,25 miljard geïnvesteerd in onder andere de constructie van waterstofcentrales. Dit leidt tot een arbeidsvraag die ligt tussen de 4.000 en de 5.700 fte. Voor elke fase zijn er arbeidsverdelingen gemaakt van de relevante beroepsgroepen per opleidingscategorie. Vervolgens is beoordeeld hoe goed deze arbeidsvraag ingevuld kan worden met het huidige arbeidsaanbod.

Afkortingen en definities

Afkortingen	Definities
Fte	Fulltime equivalent; een eenjarige fulltimebaan, gebaseerd op een 38-urige werkweek.
Hbo	Hoger beroepsonderwijs
Mbo	Middelbaar beroepsonderwijs
O&M	Operatie & Onderhoud
O&O	Onderzoek & Ontwikkeling
Wo	Wetenschappelijk onderwijs
HSE	Health and Safety Executives



1 Introductie

1.1 Inleiding

Door menselijke activiteiten, zoals industriële productie, neemt de uitstoot van broeikasgassen toe (IPCC, 2014). Dit leidt tot negatieve systematische veranderingen in het klimaat (IPCC, 2014). De uitstoot van koolstofdioxide en methaan door industriële productie en fossiele energieopwekking, heeft het grootste negatieve effect op het klimaat (IPCC, 2014). 25% van de wereldwijde broeikasgassen wordt uitgestoten door de elektriciteits- en verwarmingssector, veelal door het verbranden van kolen, olie en gas (IPCC, 2022). Om de negatieve gevolgen van klimaatverandering te reduceren, wordt er gekeken naar klimaatmitigatie- en -adaptatiestrategieën¹. Het Klimaatakkoord van Parijs heeft als doel om de uitstoot te reduceren door het implementeren van mitigatietechnologieën.

In het Klimaatakkoord van Parijs is opgenomen dat de temperatuurstijging van de aarde onder 2 °C² dient te blijven (Matemilola et al., 2020). Europa heeft in 2019 de Green Deal³ gepresenteerd. Hierin is afgesproken dat alle lidstaten in 2050 klimaatneutraal en -bestendig zijn (Wolf et al., 2021). In 2030 moet de Europese Unie de uitstoot van CO₂ met 55% hebben verlaagd ten opzichte van 1990. Daarnaast moet het aandeel hernieuwbare energie in 2030 40% bedragen van de totale energiemix, en moet elke lidstaat jaarlijks 0,8% energie besparen. Nederland wil de CO₂-uitstoot in 2030 met 49% te hebben gereduceerd. Hiertoe heeft Nederland het Energieakkoord (2013) en het Klimaatakkoord (2019) opgesteld om mitigatietechnologieën te implementeren, ter bevordering van een duurzamere toekomst. De meeste mitigatiewinst valt te behalen door aanpassingen in het energiesysteem. Dit komt door het grote aandeel broeikasgasuitstoot binnen de energieopwekking op zowel wereldwijd maar ook nationaal niveau. Een belangrijk onderdeel van het Energieakkoord en het Klimaatakkoord is de uitrol van de energietransitie met hernieuwbare energiebronnen (Rijksoverheid, 2019).

De implementatie van de energietransitie stuit op hindernissen die de uitrol vertragen. Zo is er een arbeidstekort voor technisch en ICT-geschoold personeel (Weterings et al., 2018; Weterings et al., 2019; Ligtvoet et al., 2016). Dit leidt tot een verlaagde productiecapaciteit door het gebrek aan handen. Daarnaast is er ook een tekort op kwalitatief gebied. Dit houdt in dat opleidingen soms nog ontoereikend zijn in het aanleren van vaardigheden die vereist zijn voor klimaatbanen (UWV, 2022b)⁴. Om deze tekorten zo effectief mogelijk te verminderen, zijn inzichten nodig in de aard en samenstelling van de gevraagde arbeid in de energietransitie. Inzicht in de toekomstige vraag draagt eraan bij om opleidingen en het beroepsaanbod beter aan te laten sluiten bij de markt.

¹ Klimaatmitigatie is alle acties gericht op het reduceren van de broeikasgasuitstoot. Klimaatadaptatie is het aanpassen van de samenleving zodat het beter is ingericht op een veranderend klimaat.

² Dit is gerelateerd aan de pre-industriële tijd.

³ De Green Deal is Europees beleid voor de lidstaten om de broeikasgasuitstoot te reduceren naar nul in 2050 (Europese Commissie, 2019). Hierbij wordt er ook op economische groei ingezet.

⁴ Klimaatbanen zijn banen die de klimaatambities van het kabinet doen helpen realiseren. Een voorbeeld hiervan is een zonnepaneelinstallateur.



1.2 Probleemstelling & onderzoeksvragen

CE Delft maakt in projecten regelmatig gebruik van een analytisch werkgelegenheidsmodel dat de directe vraag naar banen bepaalt voor verschillende energietransitiescenario's. Tot voor kort was een raming van werkgelegenheidseffecten een belangrijk bestuurlijk argument voor overheden voor het onderbouwen van transitieplannen. De toegenomen vergrijzing en aantrekkende economie zorgen voor schaarste op de arbeidsmarkt, hierdoor wordt het lastig om de vele vacatures ingevuld te krijgen. Daarmee is het invullen van de vraag naar banen een kritische slaagfactor geworden in de energietransitie. Het gevolg is dat er meer behoefte komt aan ramingen die betrekking hebben op de aard en kenmerken van de vraag naar banen, en de wijze waarop daaraan het beste (regionale) invulling kan worden gegeven om het aanbod bij de vraag aan te laten sluiten (opleidingen en arbeidsmarktbeleid). Hierdoor kunnen spanningen op de arbeidsmarkt beter in kaart worden gebracht. Als gevolg van de tekorten krijgen bedrijven te maken met verhoogde werkdruk, vermindering van de geleverde product- of dienstqualiteiten en hogere kosten voor de implementatie van de transitie (Strategie Summit Energie & Utilities, 2019).

De volgende drie hoofdonderzoeksvragen en deelvragen zijn hierbij geformuleerd:

1. Hoe kunnen de veranderingen in de arbeidsmarkt voor de energietransitie worden geconceptualiseerd?
 - Wat zijn de veranderingen die momenteel zichtbaar zijn in de arbeidsmarkt voor de energietransitie?
 - Wat zijn verwachte veranderingen in de arbeidsmarkt voor de energietransitie?
2. Hoe kan het CE-arbeidsmarktmodel worden uitgebreid zodat het model rekening houdt met de aard en samenstelling van de vraag naar arbeid?
3. Hoe kan het uitgebreide CE-arbeidsmarktmodel worden toegepast bij een regionale casus?
 - Wat zijn de effecten van de energietransitie op de aard en samenstelling van de vraag naar arbeid bij een regionale casus?
 - Welke aanbevelingen volgen uit de resultaten van de regionale casus voor opleidingsinstituten, werknemers en werkgevers?

1.3 Scope

Dit onderzoek op het gebied van directe werkgelegenheid richt zich op de Nederlandse energietransitie na 2020. Het model richt zich op de directe vraag naar arbeid. Wanneer de arbeidsvraag wordt ingevuld door het arbeidsaanbod, ontstaat de werkgelegenheid. Het model richt zich op duurzame energiebronnen, zoals wind op zee en land, zonne-energie, waterstof en biomassa. Bovendien worden naast netverzwaringaanpassingen ook energiebesparingstechnologieën in kaart gebracht, zoals all electric, groengas en collectieve verwarming. Deze energietechnieken zijn onderdeel van de energiesector⁵. Om de netto veranderde vraag van arbeid in kaart te brengen, wordt er ook rekening gehouden met fossiele energiebronnen. Voor elke energietechnologie of aanpassing wordt de waardeketen onderscheiden in Onderzoek & Ontwikkeling (O&O), Productie, Transport & Installatie en Operatie & onderhoud (O&M).

⁵ De sector Energie is gedefinieerd als volgt: 'Alle activiteiten die zich bezighouden met de productie, distributie en verkoop van energie alsmede de productie van energiegerelateerde producten en diensten. Vervolgens kunnen energiegerelateerde producten en diensten gedefinieerd worden als alle producten en diensten die direct en uitsluitend worden gebruikt voor de productie, distributie en besparing van energie' (CBS, 2014).

1.4 Doelstelling

Om de energietransitie te realiseren en daarbij de klimaatdoelen te halen, moet er snel worden geïnvesteerd in scholing, om- en bijscholing, aantrekking van potentieel personeel en in de begeleiding van en naar nieuw werk. Op Europees niveau moet in 2030 de uitstoot met 55% verminderd zijn, hernieuwbare energie een aandeel hebben van 40% in de totale energiemix en elk lidstaat moet jaarlijks 0,8% energie besparen. Nederland heeft deze doelstellingen vertaald in een minimale uitstootreductie van CO₂ met 49%. Hierbij moet in 2030 voor Nederland 27% van de energie uit duurzame bronnen komen. Dit vereist grote investeringen en inzet van arbeid en kapitaal waaraan er een schaarste heerst.

Met deze stageopdracht wil CE Delft, door middel van empirische inzichten, een betere aansluiting vinden bij de veranderende vraag naar werkgelegenheidsanalyses en meer zicht krijgen op de omvang van structurele aansluitingsproblemen op de arbeidsmarkt als gevolg van energietransitie.

1.5 Aanpak

Voor Onderzoeksvraag 1 moet er nieuw conceptueel kader worden ontwikkeld, waarmee werkgelegenheidsramingen uitgevoerd kunnen worden. De verzamelde literatuur moet duidelijk maken wat voor invloed de veranderende situatie van de arbeidsmarkt op de energietransitie heeft. Dit conceptueel kader volgt uit een literatuurstudie dat rekening houdt met de vervangings- en uitbreidingsvraag⁶. Deze effecten hebben gevolgen voor het implementatietempo van de energietransitie. Binnen de literatuurstudie wordt er een onderscheid tussen korte- en langetermijneffecten gemaakt.

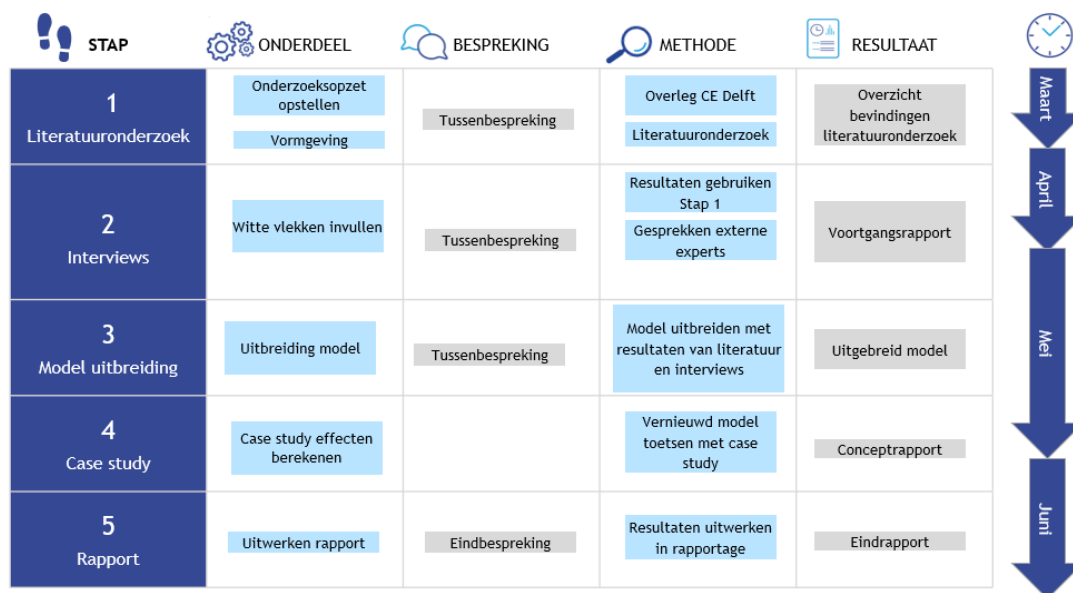
De tweede onderzoeksvraag vereist inzichten over de mate van detail van de vernieuwde indeling. Deze indeling wordt gebruikt om preciezere werkgelegenheidsramingen te construeren. In elk geval moet er rekening worden gehouden met opleidingsniveaus en arbeidsmarktkwalificaties. De eerste stap in het preciseren van de indeling is het uitvoeren van een literatuurstudie dat per energietechnologie zoekt naar de vereiste beroepen en arbeidsmarktkwalificaties per fase in de waardeketen. Wanneer een specifieke indeling niet haalbaar schijnt te zijn, door een gebrek aan kwantitatieve data in de literatuur, worden er in Stap 2 van deze onderzoeksvraag interviews afgenomen met energiebedrijven en netbeheerders. De beoordelingen van de experts dienen als inschattingen voor de arbeidsmarkt-vraag. Hiervoor worden elf interviews afgenomen.

Aan de hand van het aangepaste model wordt een regionale casus toegepast om te kijken hoe de arbeidsmarkt-vraag zich ontwikkelt. Deze casus wordt in overleg tussen CE-Delft, beleidsmakers en netbeheerders vastgesteld. Om resultaten te generen voor dit model moet er eerst kenbaar worden gemaakt hoe hoog de investeringsbedragen zijn. Vervolgens worden deze bedragen doorgerekend in het vernieuwde model. Hierna wordt gekeken hoe de arbeidsvraag regionaal kan worden ingevuld. Daarbij worden oplossingen aangedragen om regionale spanningen op de arbeidsmarkt te minimaliseren.

Figuur 1 geeft een schematisch stappenlijn weer over de tijd voor alle drie de onderzoeksvragen.

⁶ De uitbreidingsvraag omvat de vraag naar personeel, doordat de maatschappij meer diensten of goederen nodig gaat hebben (Bakens et al., 2021). De vervangingsvraag omvat de vervangbare vraag naar personeel dat (tijdelijk) uitgevallen is wegens migratie, arbeidsongeschiktheid, pensionering en kinderopvang (Bakens et al., 2021).

Figuur 1 - Schematisch stappenplan van het stageonderzoek



1.6 Leeswijzer

In **Hoofdstuk 2** wordt de Nederlandse energietransitie geïntroduceerd. Hierin worden verschillende energietechnieken behandeld. In **Hoofdstuk 3** en **4** gaan we dieper in op de vraag en het aanbod van arbeid in de sector voor energie. In **Hoofdstuk 5** brengen we vraag en aanbod samen, behandelen we de spanningen en de oplossingen. In **Hoofdstuk 6** gaan we dieper in op het CE-werkgelegenheidsmodel. **Hoofdstuk 7** gaat dieper in op de kwalificaties en opleidingsniveaus per energietechnologie. Hierna behandelen we in **Hoofdstuk 8** een casestudy die gebruikmaakt van de nieuwe module. Dit rapport wordt afgesloten met een aanbeveling en een conclusie in **Hoofdstuk 9**.

2 De Nederlandse energietransitie

2.1 Inleiding in de Nederlandse energietransitie

De Nederlandse overheid zet zich in toenemende mate in op alternatieve manieren van energieopwekking om de klimaatdoelen te bereiken (Rijksoverheid, 2019). Deze klimaatdoelen zijn opgesteld om de uitstoot van broeikasgassen terug te dringen en daarmee de negatieve gevolgen van klimaatverandering te reduceren. Hierbij moeten de broeikasgassen in Nederland in 2030 met 49% worden gereduceerd ten opzichte van 1990 en in 2050 met 95% (Regeerakkoord, 2017). Een belangrijke stap in het halen van dit doel is de transitie van het Nederlands energiesysteem, waarbij de overgang van conventionele fossiele energiebronnen naar duurzame energiebronnen wordt bevorderd (Ligtvoet et al., 2016). Dit impliceert dat de maatschappij zich ontwikkelt naar een economie die minder koolstof-intensieve energie gebruikt en waarbij de opgewekte en gebruikte energie zo koolstofarm mogelijk moet zijn. Het gaat in dit geval om betere energie-efficiëntie, duurzame opwekking van elektriciteit, CO₂-reductie, procesoptimalisatie en circulariteit (Strategie Summit Energie & Utilities, 2019). Dit is afgesproken in het Energieakkoord en in het opvolgende Klimaatakkoord dat de energietransitie in goede banen moet leiden, door het maken van nieuwe regulering, financiering, toepassing van nieuwe technologieën en aanpassingen in de scholing van personeel (Ligtvoet et al., 2016). Ten gevolge van de transitie moet de infrastructuur ook worden aangepast om bijvoorbeeld de windmolenparken te verbinden met het energienetwerk. Een probleem hierbij is dat Nederland hiervoor beperkte capaciteit heeft in de infrastructuur vanwege ruimtegebrek (Rooijers et al, 2020). Daarnaast ondervindt de opschaling van energieproductie, naast vele andere oorzaken, ook problemen met de robuustheid van het energiesysteem op juridisch vlak en andere fricties op de arbeidsmarkt.

Belangrijk in de energietransitie is de implementatiegereedheid voor hernieuwbare energie. Dat vertaalt zich in het vermogen om nieuwe kansen op het gebied van hernieuwbare energie te realiseren, door rekening te houden met ecologische, economische, overheids- en institutionele dimensies (Sooriyaarachchi, 2015). Belangrijk bij de beoordeling van de gereedheid voor de uitbreiding van het vermogen van duurzame energie, is het beoordelen of de infrastructuur, instellingen en menselijk kapitaal op voldoende niveau zijn. Hoe hoger het niveau van deze drie pijlers, hoe meer energieproductiecapaciteit binnen een land kan worden gerealiseerd. Meer activiteiten op het gebied van hernieuwbare energie, zoals de aanleg van een offshore windpark, zouden op hun beurt meer menselijk kapitaal kapitaliseren. Verder stelt Sooriyaarachchi (2015) dat werkend personeel de neiging heeft om de energiesector te verlaten wanneer instituties ontbreken in het faciliteren van energieprojecten en het ontwikkelen en behouden van menselijk kapitaal binnen de industrie.

2.2 Fossiele brandstoffen

Fossiele brandstoffen, zoals olie, kolen en gas, leveren al decennialang de meeste elektriciteit en warmte wereldwijd. Dit heeft gezorgd voor werkgelegenheid. De energietransitie heeft als doel de productiecapaciteit van hernieuwbare energiebronnen te verhogen. Door de afname van het gebruik van fossiele energiebronnen zal de werkgelegenheid krimpen in de aanleg, het onderhoud en procesbeheer van fossiele installaties (Ligtvoet et al., 2016).

In tegenstelling tot bij hernieuwbare energiebronnen is de energieopbrengst bij fossiele energieproductie niet variabel, omdat het niet afhankelijk is van het weer. Fossiele brand-



stoffen kunnen een stabiel energieproductieniveau leveren. Hiervoor worden in Nederland voornamelijk kolen, olie en gas gebruikt, wat uitstoot van broeikasgassen met zich meebrengt. Om een stabiel energieaanbod te kunnen garanderen, zijn relatief koolstofarme energieproductiemethodes nodig voor de pieklust, zoals biomassa en waterstof.

2.3 Wind

Door de geografische ligging van Nederland, ligt de voornaamste potentie voor duurzame energieopwekking in wind-, zonne-, en bio-energie (Ligtvoet et al., 2016). Wind op zee heeft vanwege de ruimtelijke toepasselijkheid een grote voorkeur opgebouwd in de kustprovincies, ongeacht de relatief hogere kosten ten opzichte van wind op land. Voor wind op zee is nu ongeveer 3 GW aan capaciteit gerealiseerd, dat moet worden opgeschroefd naar 10.6 GW in 2030 en 60 GW in 2050 (Knol & Coolen, 2019). Wind op land wordt voor het merendeel benut door het plaatsen van windturbines op land, meren of dijken. Momenteel produceert deze technologie ongeveer 4,5 GW aan energie (Lindersvet al., 2021). Door de vereiste capaciteitsstijging in wind op zee en land, is er vooral vraag naar arbeid in de projectontwikkeling, implementatie, exploitatie en het onderhoud (Ligtvoet et al., 2016).

Op lokaal niveau ontstaat er voor windenergie nog discussie over de locatie om een windpark te plaatsen. Burgers geven hierbij aan dat het plaatsen van windmolens in de buurt van een huis leidt tot waardevermindering van de grond waar het huis op is gebouwd, tot horizonvervuiling en last van slagschaduw van de wieken. Dit maakt het soms lastig deze techniek goed in te passen in de huidige infrastructuur van Nederland.

2.4 Zon

Zonne-energie is in Nederland voornamelijk geïntegreerd in de gebouwde omgeving als dak- en gevelbedekking (Ligtvoet et al., 2016). Zonne-energie is een snelgroeiende sector in termen van energieproductie door subsidies waarbij er in 2020 3,5 GW aan zonne-energie werd geproduceerd (Lindersvet al., 2021). De zonne-energiesector in Nederland is een sterk concurrerende sector, maar mist kansen door een te lage binnenlandse productiecapaciteit (Ligtvoet et al., 2016).

2.5 Waterstof

De Routekaart 2030 geeft aan dat in 2030 11,5 GW aan waterstofproductiecapaciteit moet worden gerealiseerd (DNV GL, 2020). Dit ligt in 2050 tussen de 38 tot 72 GW. Voor groene waterstof wordt voornamelijk gebruik gemaakt van elektriciteit dat afkomstig is van wind op zee. 6,5% tot 33,4% van de geproduceerde elektriciteit moet in 2050 worden gebruikt voor waterstof (DNV GL, 2020). Op regionaal gebied is de grootste gebruikspost de elektriciteitsproductie en op internationaal gebied de industrie.

2.6 Biomassa

Nederland is een grootverbruiker van biomassa, door groente-, fruit- en tuinafval om te zetten in energie. Daarentegen is momenteel het gebruik van biomassa in Nederland omstreden om verschillende redenen. Ten eerste is de productiewaarde van energiegewassen voor biomassa financieel minder aantrekkelijk dan de verbouwingswaarde van velen andere gewassen (Van Poppel, 2020). Dit impliceert dus dat er voor boeren meer winst te behalen valt bij de verbouwing van gewassen, zoals groente en bloemen. Ten



tweede is deze energieproductietechnologie op politiek gebied beladen, doordat tegenstanders de meerwaarde niet inzien van het kappen van bossen als input voor energieopwekking (Van Poppel, 2020). Energieleveranciers die gebruik maken van biomassa komen in Nederland en in Europa in opspraak en stellen daarom projecten voorlopig uit. Er wordt daarom gesproken over deze energiebron als transitiebrandstof voor de samenleving.

De biobased-economy is daarentegen wel terrein aan het winnen door het extraheren van energie uit afvalstromen van onder andere groente-, fruit- en tuinafval. Biobrandstof kan direct worden verbruikt als elektriciteits- en warmteproductie, of als transportbrandstof. Vraag naar arbeid in deze sector is voornamelijk te vinden in de installatieprocessen (Ligtvoet et al., 2016). Deze installatie moet dicht bij de bron worden geplaatst, aangezien transport financieel onaantrekkelijk is (Ligtvoet et al., 2016).

2.7 Energiebesparende maatregelen

Energiebesparing wordt steeds populairder door stijgende energieprijzen, technologische innovatie, financiële ondersteuning en door de aanleg van slimme elektriciteitsnetwerken (Weterings et al., 2018). Besparingen in de ruimteverwarming moeten bereikt worden door elektrische warmtepompen, wko-installaties, isolatie en restwarmte uit industrieën. De installatie van nieuwe technieken is arbeidsintensief en levert potentiële werkgelegenheid op voor projectontwikkeling en onderzoek naast de bouw- en installatiesector (Ligtvoet et al., 2016). De toepassingen van elektriciteit in ruimteverwarming impliceert ook meer verbondenheid tussen beroepen zoals loodgieters en elektriciens. De toenemende intensivering van het elektriciteitsnetwerk vereist dat vraag en aanbod beter op elkaar worden afgestemd door slimme technologieën, zodat duurzaam geproduceerde elektriciteit kan worden opgeslagen voor toekomstig gebruik.

2.8 Netverzwaring

De besproken energietechnieken moeten worden aangesloten op het energienetwerk van Nederland. Door verschillende hernieuwbare energietechnieken neemt het energieaanbod toe. Door toepassingen zoals all electric neemt de vraag naar elektriciteit significant toe (Boon et al., 2020). Naast dat het netwerk uitgebreid moet worden, moet de netverzwaring ook steeds slimmer worden ingericht met technologieën die gericht zijn op energie-efficiëntie (Buyn et al., 2011). Netbeheerders moeten als gevolg van verhoogd elektriciteitsgebruik en -productie de capaciteit sterk opvoeren door extra investeringen te doen. Tot 2030 wordt verwacht dat hierin € 37 miljard geïnvesteerd wordt, met redelijk gelijke spreiding over verschillende energieregio's (Boon et al., 2020).

3 Arbeidsvraag in de energietransitie

3.1 Inleiding

De Nederlandse energietransitie ondervindt problemen met het opschalen van de productiecapaciteit van hernieuwbare energie. De voornaamste hindernis hierin is de gebrekkige aansluiting tussen vraag en aanbod in de arbeidsmarkt. De oorzaak van het arbeidstekort is dat de veranderingen in de arbeidsvraag als gevolg van de energietransitie vaak sneller zijn dan dat de scholing en training van personeel kan worden aangepast (Sooriyaarachchi et al., 2015). Proportioneel gezien genereert het onderzoek, de constructie en het onderhoud van duurzame energiebronnen meer banen vergeleken met koolstofintensieve energiebronnen (Strietska-Ilina et al., 2011). Het gevolg van de tekorten is dat er moet worden geïnvesteerd in scholing, omscholing en bijscholing van (nieuw) personeel (Bakens et al., 2021). In de vraag- en aanbodeffecten die besproken zullen worden, moet er eerst onderscheid worden gemaakt tussen korte en lange termijn.

3.2 Afbakening korte en lange termijn

Jansema-Hoekstra et al. (2018) zien de lange termijn als het eindpunt van de beoogde beleidsveranderingen. Dit is vaak vijf tot tien jaar, maar is situatieafhankelijk. Het ligt er in dit geval aan naar wat voor type beleid er wordt gekeken. In elk geval wanneer beleidsmaatregelen al vijf tot tien jaar in werking zijn, ontstaan er structurele marktreacties in de prijs en verhandelde hoeveelheid (Jansema-Hoekstra et al., 2018). Hierdoor komen vraag en aanbod weer in evenwicht. Het onderscheid tussen korte en lange termijn is dus dat aanpassingsmechanismen effect hebben op dit evenwicht tussen vraag en aanbod (CPB, 2013). Met dit onderscheid is het redelijk om een tijdsbestek te nemen van de gemiddelde tijd die een technische opleiding in beslag neemt. Gemiddeld genomen duurt een opleiding ongeveer vier tot vijf jaar.

Binnen dat termijn is het arbeidsaanbod inelastisch⁷ door een vertraagde instroom van nieuw arbeid, beperkte ruimte voor bestaande arbeid om meer werk te verrichten en door hoge economische transactiekosten om te veranderen van baan. Het PBL (2018) geeft aan dat door de energietransitie de fossiele sector krimpt en zal zorgen voor regionale werkloosheid. Een deel van de werkzoekenden zal een grotere afstand moeten overbruggen voor nieuw werk. Dit brengt kosten met zich mee, omdat hierdoor de reistijd toeneemt of men zal moeten verhuizen. Transactiekosten kunnen ontstaan door bijvoorbeeld de tijd en het geld dat nodig is om te veranderen van woning, maar ook door immateriële veranderingen, zoals het missen van je oude woonomgeving. Deze economische kosten worden gecreëerd door geografische afstanden en een mismatch van de vereiste en aangeboden kwalitatieve vaardigheden. Mensen zijn niet geneigd op korte termijn te willen verhuizen voor werk (Weterings et al, 2018). Daarnaast zijn voor veel mensen werkweken langer dan 40 uur niet wenselijk, wat aangeeft dat de reeds werkende mensen niet meer werk kan en wil verrichten.

⁷ Hierbij verandert de vraag relatief minder sterk dan de prijs.



Na vijf jaar stroomt er nieuw arbeidsaanbod in op de markt. Dat betekent dat binnen de vijf jaar waarin nieuw arbeidsaanbod kan worden gecreëerd, de personeelswerving stroever verloopt voor nieuwe opleidingen (CPB, 2013). Hierdoor treden er sneller veranderingen op in de prijzen en lonen in plaats van de kwantitatieve verandering in het arbeidsvolume, onder de voorwaarde van een adequate in- en uitstroom van studenten.

Bij een snelle toename van de vraag is de verwachting dat de arbeidsmarkt zal reageren in de vorm van verbetering van salarissen en andere arbeidsvoorwaarden. Na circa vijf tot tien jaar zal er ook een structurele aanbodreactie plaatsvinden, wanneer de instroom groot genoeg is. Wanneer de in- en uitstroom onvoldoende is, zullen kraptes voortbestaan en zal de markt hierop moeten reageren door het in stand houden van relatief hoge lonen, het zoveel mogelijk intern opleiden van personeel, technologische innovatie promoten dat leidt tot arbeidsbesparing en 'nee' moeten verkopen.

Het aanbod van arbeid is ook afhankelijk van trends buiten de arbeidsmarkt, zoals de mobiliteit van kapitaal en wanneer lonen prikkelend genoeg werken om te beginnen met werk of meer uren te draaien (Jansema-Hoekstra et al., 2018). Vaak is het zo dat er veel vakspecifieke vaardigheden nodig zijn voor klimaatberoepen, die belemmerend kunnen zijn voor de invulling van de vacatures, zoals voor een isolatiemonteur of een warmtenet-distributiemonteur (UWV, 2022). Ook moet er gekeken worden naar de elasticiteit van de vraag van arbeid. Wanneer de vraag elastisch is, houdt dit in dat werkgevers hun vraag snel kunnen aanpassen. Bij een hoge prijsstijging, door een tekort aan arbeid, zullen werkgevers hun vraag naar arbeid laten afnemen. Hierdoor worden diensten en producten vaak uitgesteld. Wanneer de markt zich weer aanpast door de verruiming van het aanbod bij een al reeds toegenomen vraag, zijn de langetermijneffecten van spanningen op de arbeidsmarkt prijstechnisch gezien vaak kleiner dan op korte termijn.

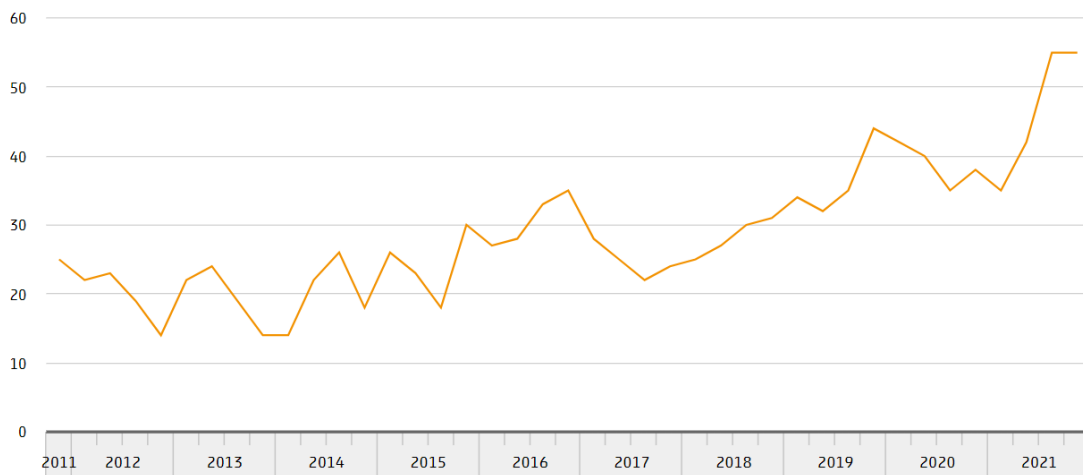
3.3 Kortetermijnvraag

Op de korte termijn ondervinden veel bedrijven problemen met het invullen van de vacatures. Dit leidt tot uitstel van energieprojecten (Weterings et al., 2018). Er zijn voornamelijk personeelstekorten in de IT, machinebouw, bouw en bij architecten- en ingenieursbureaus (Weterings et al., 2018). Bakens et al. (2021) voorziet in een studie over arbeidsprognoses tot 2026 dat de energiesector wordt gekenmerkt met een sterke groei in de vraag naar arbeid. In dit geval is een jaarlijkse stijging vanaf 2021 voorzien in het aantal werkenden, van 0,9%. Weterings et al. (2018) geven aan dat werkgevers in de energiesector vragen om netto 49.000 extra vervulde arbeidsplaatsen in 2030 en dit loopt op tot 87.000 in 2050, met 95% broeikasgasreductie als doelstelling. Arbeid zal in dit geval meer verschuiven richting arbeidsintensievere sectoren (Weterings et al., 2018; Horbach et al., 2015). Gemiddeld werkten in 2019-2020 76.000 mensen in de energiesector (Bakens et al., 2021). Figuur 2 laat zien dat het aantal openstaande vacatures per 1.000 banen in de energievoorziening hard stijgt vanaf eind 2020.



Figuur 2 - Aantal openstaande vacatures per 1.000 banen in de energievoorzieningssector

openstaande vacatures per 1 000 banen



Bron: (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2022b).

Een groot gedeelte van de weergegeven vraag van arbeid zal gaan om technisch geschoold personeel, zoals bouw personeel, machinemonteurs, elektriciens, ingenieurs en onderzoekers (Bakens et al., 2021; Weterings et al., 2018). Veel bedrijven vissen technisch personeel uit dezelfde pool van arbeidsaanbod. De vraag naar bouw personeel concurreert met de toenemende vraag naar technisch personeel voor hernieuwbare energiebronnen. Installatie personeel kan op redelijk korte termijn worden omgeschoold naar technisch personeel voor de installatie en het onderhoud van windmolens op land (Bakens et al., 2021).

In de bouw, met name voor metaalbewerkers, wordt verwacht dat de tekorten binnen zes jaar zijn opgevuld (Weterings et al., 2018). Hierbij moet rekening worden gehouden met de stikstofproblematiek dat voor een negatieve druk zorgt op de vraag naar technisch personeel in de bouw, aangezien projecten worden uitgesteld. Daarentegen voorzien Boon et al. (2020) een iets positiever beeld voor de bouwsector wanneer er op de middellange termijn door het kabinet wordt gekeken naar nieuwe woningvoorzieningen. Hierbij wordt verwacht dat ten minste tot 2030 de totale bouwproductie toeneemt van € 62 miljard naar € 74,7 miljard. De jaarlijkse groei van het gevraagde arbeidsvolume neemt toe met een breedte van 0,4% tot 0,9%. In het onderzoek van Boon wordt aangegeven dat een groeipercentage tussen de 0,4% en 0,9% lager ligt dan eerst was verwacht, omdat binnen de sector meer kapitaal wordt ingezet, wat voor een relatief hogere groei van arbeidsproductiviteit zorgt. Het kapitaal wordt geïnvesteerd in fabriekshallen, om zo de productiecapaciteit van geprefabriceerde onderdelen te vergroten. Hierbij verschuift een deel van de arbeid naar de fabriekshallen. Er wordt gesuggereerd dat dit komt door de negatieve druk op de bouwsector van de stikstofcrisis.

Bij deze kleinere, maar groeiende vraag naar arbeid is er meer vraag naar nieuwe vaardigheden, zoals integraal bouwen⁸ en (Building Information Modelling) programmeren, volgens Boon et al. (2020). Er wordt verwacht dat er genoeg tijd is om deze vaardigheden aan te

⁸ Integraal bouwen is de samenwerking en coördinatie in het bouwproces tussen arbeiders, dat rekening houdt met de bestaande omgeving en inwoners om zo overlast te verminderen en daarbij duurzamer te bouwen. Hierbij verschuift de focus van een mono-actor naar een multi-actor, omdat er meer disciplines bij komen kijken om zo duurzaam mogelijk te bouwen (Agentschap NL, 2012).

leren in bestaande opleidingstrajecten voor de bouw. Het invullen van vacatures voor ingenieurs en onderzoekers voor de energietransitie vormt een van de grootste knelpunten in termen van werving van gekwalificeerd personeel (Boon et al., 2020). Dit probleem vindt zijn oorsprong voornamelijk in een te lage instroom om te voldoen aan de vervangingsvraag. Daarnaast is er in de niet-technische sectoren vraag naar hoogopgeleid technisch geschoold personeel, doordat ze vermogender zijn op het gebied van problemen oplossen en analytisch bekwaam zijn (Weterings et al, 2018).

Spanningen op de arbeidsmarkt worden gedreven door een uitbreidings- en vervangingsvraag. De uitbreidingsvraag omvat de vraag naar personeel doordat de maatschappij meer diensten of goederen nodig gaat hebben (Bakens et al., 2021). De vervangingsvraag omvat de vervangbare vraag naar personeel dat (tijdelijk) is uitgevallen wegens migratie, arbeidsongeschiktheid, pensionering en kinderopvang (Bakens et al., 2021). Volgens Bakens et al. (2021) is het zo dat personeel vaak wordt vervangen door hoger opgeleid, nieuw personeel in de technische sector.

Een verandering in de vraag van arbeid kan worden uitgedrukt in de verandering in hoeveelheid arbeidsjaren die nodig zijn voor het produceren van goederen en diensten (Weterings et al. 2018). Jaarlijks is geraamd door Bakens et al. (2021) dat 2,4% van de technische beroepsbevolking vervangen moet worden. Daarbij groeit jaarlijks het totaal aantal vacatures met 2,6%. Verschillende bestuurders van bedrijven die de energietransitie implementeren, geven aan dat ze met een tekort aan technisch personeel kampen van tussen de 5% tot 10% (Strategie Summit Energie & Utilities, 2019). Aangegeven wordt dat de procesindustrie personeel mist voor procesoptimalisatie, de installatiesector komt technisch personeel tekort, en in de bouw is er een tekort aan arbeid voor verduurzaming van huizen. Op de korte termijn implementeren de bestuurders strategieën, zoals projectuitbesteding, eigen opleidingstrajecten, verbeterde samenwerking binnen de keten en verruiming van de werktijden.

Op mbo-niveau is er voornamelijk een tekort aan steigerbouwers, monteurs en loodgieters- (UWV, 2019). Ook is er een tekort aan leidingleggers, elektriciteitsmonteurs en stukadoors (UWV, 2019). Wanneer er gekeken wordt op hoger en wetenschappelijk niveau, is er vooral een tekort aan BIM-modellereurs, projectleiders en bodemkundig onderzoekers/inspecteurs (UWV, 2019). Als laatste wordt het arbeidstekort ook gedreven door slechtere aansluiting tussen opleidingen en de toekomstige vraag van werkgevers in de technische sector (Strategie Summit Energie & Utilities, 2019). Tabel 1 geeft de vraag weer naar technisch geschoold personeel en de daadwerkelijke instroom. Hieruit is op te maken dat er tot 2026 een structureel tekort is.

Tabel 1 - Weergave van jaarlijkse veranderingen van technische beroepen tot en met 2026

	Jaarlijkse instroom	Jaarlijkse vervangingsvraag	Jaarlijkse uitbreidingsvraag
Mbo-2 Techniek en ICT	2,9%	2,9%	0,0%
Mbo-3 Techniek, bouw en procesindustrie	3,4%	12,5%	-0,1%
Mbo-4 Techniek, bouw en procesindustrie	2,0%	25,1%	0,4%
Bachelor Techniek en ICT	2,1%	24,1%	0,9%
Master Techniek en ICT	3,0%	24,1%	0,9%

Bron: (Bakens et al., 2021).

3.4 Langetermijnvraageffecten

Het gros van de werkzaamheden dat wordt uitgevoerd tijdens de implementatie van de energietransitie, zoals productie, transport en installatie, wordt gekarakteriseerd als arbeid van tijdelijke aard (Weterings et al., 2018). Door de grote omvang van de investeringen in de energietransitie tot 2050, heeft deze arbeidsvraag in zijn geheel wel structurele kenmerken. Voor veel technieken is er dus een langetermijnvraag in de energietransitie.

De langetermijnvraag in de arbeidsmarkt wordt direct bepaald door het loonniveau (Hamermesh, 1996). Dit loonniveau komt tot stand door de interactie van arbeidsvraag en -aanbod. Dit leidt tot een algemeen evenwicht, doordat de arbeidsvraag op lange termijn vaak niet perfect elastisch is. Bij dit algemene evenwicht is er altijd sprake van relatief weinig werkloosheid door arbeidsmarktfricties en instituties (Jansema-Hoekstra et al., 2018). De arbeidsvraag is niet perfect elastisch⁹, doordat de werkgelegenheid een gefixeerde hoeveelheid is op de lange termijn. Het arbeidsaanbod is op lange termijn perfect inelastisch¹⁰. Langetermijnveranderingen voor de vraag zijn vaak exogene veranderingen, zoals technologische innovatie in het productieproces.

Op de lange termijn worden algemene evenwichtseffecten belangrijk. Hierbij hebben veranderende economische, culturele, sociale en natuurlijke krachten effect op allerlei sectoren binnen en buiten Nederland. Dit kan vervolgens technologische innovatie beïnvloeden. Deze effecten kunnen zorgen voor aanpassingen in het langetermijnevenwicht in de Nederlandse markt. De voorspelde economische groei voor Nederland is belangrijk om in de algemene evenwichtseffecten mee te nemen. Economische opleving na COVID-19, stijgende energieprijzen en de oorlog in Oekraïne zorgen voor onder andere krapte op de markt, met als gevolg stijgende prijzen, waardoor koopkracht daalt (CPB, 2022). Hierdoor zal volgens het CPB de komende tijd de economische groei afvlakken naar ongeveer 1,7%.

Daarnaast zijn er in de Nederlandse samenleving ook andere transitie aan de gang met langetermijneffecten, en de acceptatie van de energietransitie onder de Nederlandse bevolking is daarbij ook belangrijk (Weterings et al., 2018). Bijvoorbeeld de toenemende digitalisering of de woningbouwopgave in de samenleving eist ook zo zijn vraag naar technici voor de implementatie van smarttools in bedrijven en huishoudens. Daarentegen kunnen transitie ook verbonden worden, door het op een energieduurzame manier uit te rollen. Niettemin zorgt de vergrijzing ervoor dat het potentieel aan aanbod werknemers afneemt. De vergrijzingsproblematiek speelt ook een rol in de werkgelegenheid in de energietransitie (Bakens et al., 2021).

Een ander langetermijneffect is dat bij de uitrol van de energietransitie het gevaar bestaat dat door verminderde vraag naar conventionele, veelal fossiele energiebronnen, de prijs daalt (Grubb, 1990). Een vermindering van de prijs heeft als gevolg dat de vraag naar fossiele energiesubstitutieproducten zal toenemen. De verandering in relatieve prijzen op redelijk homogene producten zorgt dus voor een substitutie-effect. Daarnaast wordt het product goedkoper, wat zorgt voor een inkomenseffect. De vraag naar fossiele energiebronnen neemt toe. Al zakt de vraag niet terug naar het oude niveau, het kan wel tot grote voordeelverliezen leiden (Grubb, 1990). Dit wordt ook wel de Jevons-paradox genoemd en

⁹ Perfecte elasticiteit refereert naar een situatie waarbij een marginale verandering in de prijs overeenkomt met een eindeloze verandering in de vraag (Chen, 2017). In een situatie waarbij de prijs stijgt, zal de vraag naar het product compleet verdwijnen.

¹⁰ Perfecte inelasticiteit refereert naar een situatie waarbij een marginale verandering in de prijs overeenkomt met een geen verandering in de vraag (Chen, 2017). In een situatie waarbij de prijs stijgt, zal de vraag naar het product constant blijven.



het wordt gedreven door het reboundeffect (Alcott, 2005). Het PBL (2018) beraamt dat dit effect op het behalen van de klimaatdoelstellingen belemmerend kan werken. Dit komt doordat op de (zeer) lange termijn de relatieve uitgaven aan elektriciteit af zullen nemen en daardoor het besteedbaar inkomen toeneemt. Met dit vrijgekomen geld kunnen andere goederen en diensten worden aangeschaft.



4 Arbeidsaanbod in de energietransitie

4.1 Inleiding

De energietransitie in Nederland leidt tot een werkgelegenheidskrimp, wat voornamelijk te zien is in de aardolieverwerking, metaalindustrie, en de door overheid afgedwongen sluiting van kolencentrales en groothandel (Weterings et al., 2018). De uitbreidings- en vervangingsvraag kan deels worden opgevangen door vrijkomend personeel in krimpende sectoren met redelijk overeenkomende kwalificaties. Een voorbeeld waar arbeid vrijkomt, is in de krimpende productiesector van fossiele energie, waar nu veel kennis en expertise vrijkomt op het gebied van installatie en engineering (Prüfer & Den Uijl, 2020). De Rijksoverheid heeft data geconstrueerd voor opleidingsniveaus op basis van data van het CBS en de Techniekmonitor. In Nederland heeft technisch opgeleid personeel een aandeel van 29%, hbo-bachelor 22%, wo-bachelor 34% en wo master 28% (Rijksoverheid, 2021).

Geografische afstanden hebben tussen werkplekken ook effect op de invulbaarheid van arbeid (Weterings et al., 2018). Op korte termijn prefereren mensen een nieuwe baan binnen acceptabele reistijden, voornamelijk binnen de eigen provincie. De provincies Noord-Brabant en Gelderland worden voornamelijk gekenmerkt door een relatief hoge concentratie van constructiemachinebouwbedrijven. Het is dus aannemelijk dat door de toegenomen vraag naar machines die ingezet worden in de installatie van windmolens op land of voor netverzwaring, er een stijgende vraag kan ontstaan naar personeel in deze sectoren. Hierdoor kunnen er eventueel regionale tekorten ontstaan wanneer de vraag niet wordt ingevuld.

4.2 Buitenlands arbeidsaanbod

Binnen de duurzame energieproductieketen is het mogelijk dat bepaalde stappen in de keten in het buitenland worden ingevuld. Dit is vaak het geval voor de productie van zonnecellen, waarbij steeds meer productie van onderdelen plaatsvindt in Aziatische landen (Fragkos & Paroussos, 2018). Tabel 2 geeft een overzicht van het buitenlandse arbeidsaandeel per technologie weer. Veel onderdelen van een windturbine worden ook in het buitenland gemaakt. De SER (2018) en Koning & Van Dril (2016) geven aan dat 26% van de investeringen uitgedrukt in arbeidsjaren voor wind op zee naar landen buiten Nederland gaan. Het gaat met name om de productiefase van de windturbine zelf, dat ongeveer 80% aandeel heeft in het buitenland. De constructiefase heeft 30% aandeel in het buitenland. Dit percentage ligt voor wind op land lager, omdat daar vaak juist de regionale economie moet profiteren (Koning & Van Dril, 2016).

Met zonne-energie is het vaak zo dat kennis over de installatie moet worden geïmporteerd uit bijvoorbeeld Duitsland. Voor zonne-energie zijn er geen exacte percentages bekend. Voor onderzoek en ontwikkeling (O&O) is dat slechts 5% met wind op zee en land. O&O en operatie en onderhoud (O&M) vinden voor zonne-energie voornamelijk plaats in Nederland. Reden hiervoor is dat er in de ontwikkelingsfase expertise aanwezig moet zijn op het gebied van wet- en regelgeving in Nederland (Koning & Van Dril, 2016).

Biomassa is nog relatief klein in Nederland, maar ongeveer de helft van de aanvoerketen vindt plaats in Nederland (Koning & Van Dril, 2016). De O&O voor biomassa, wind- en zonne-energie is in Europa ver en hoog gevorderd (Weterings et al., 2019; Fragkos & Paroussos, 2018).

De exploitatie van alle technologieën vindt volgens de SER volledig plaats in en door Nederland. Daarnaast is het zo dat bij de opwekking van duurzame energiebronnen de aanvoerketen zich meer lokaal bevindt ten opzichte van fossiele energieopwekking (Fragkos & Paroussos, 2018).

De aanvoerketen van energiebesparingsmethoden wordt voornamelijk gekenmerkt door het feit dat veel bouwonderdelen al geprefabriceerd zijn op regionaal gebied (Koning & Van Dril, 2016). De bouwsector verzorgt hierin bouwplannen en -ontwerpen aan fabrieken. Hierdoor worden skills, zoals 3D-modelleren, steeds belangrijker om afstemming binnen de hele keten te laten plaatsvinden. Door de grote afhankelijk die ontstaat tussen elke fase in de keten op regionaal gebied, is er daarom weinig ruimte voor buitenlandse arbeid, los van O&O. Er wordt geschat dat ongeveer 90% van de werknemers in de keten van energiebesparingstechnologieën Nederlands is (Koning & Van Dril, 2016).

Tabel 2 - Overzicht van het buitenlandse aandeel voor verschillende energietechnologieën

Technologie	Fase in de waardeketen	Buitenlands aandeel
Wind op land	Vergunning en ontwerp	0%
	Productie	79%
	Constructie	20%
	Exploitatie	Grotendeels Nederlands
Wind op zee	Vergunning en ontwerp	5%
	Productie	78%
	Constructie	30%
	Exploitatie	Grotendeels Nederlands
Zonne-energie	Onderzoek & ontwikkeling	Half buitenlands
	Productie	Grotendeels buitenlands
	Constructie	Overgrote deel Nederlands
	Exploitatie	Overgrote deel Nederlands
Energiebesparingstechnieken	Gehele waardeketen	90%
Biomassa	Gehele waardeketen	50%

Bron: (Koning & Van Dril, 2016; SER, 2018).

4.3 Langetermijnaanbodeffecten

Het langetermijnarbeidsaanbod kan worden aangepast door een stijging van de populatie, als gevolg van immigratie of bevolkingsgroei. Dit beschikbare aanbod moet daarvoor in sommige gevallen eerst nog een opleiding hebben genoten. Daarnaast kan door kapitaal-intensivering de arbeidsproductiviteit op lange termijn toenemen, wanneer werknemers worden uitgerust met moderne apparatuur om hun werkzaamheden te verrichten. Jansema-Hoekstra et al. (2018) concluderen in een studie met langetermijnperspectieven van werkgelegenheid dat er een toename van werkgelegenheid kan ontstaan door de stimulering van nieuw arbeidsaanbod, waarbij de evenwichtswerkloosheid daalt. Arbeid is relatief inelastisch, ook op lange termijn. Wanneer lonen omhooggaan, verandert het arbeidsaanbod relatief minder (Jansema-Hoekstra et al., 2018).

De wet van Baumol dicteert verder dat de arbeidsproductiviteit in de dienstensector minder snel stijgt dan in de agrarische of industriële sector, waardoor de relatieve kosten in deze sectoren toenemen (CPB, 2013). Dit effect is voornamelijk merkbaar in het onderwijs (en de zorg) en om personeel binnen het onderwijs te houden, moeten de lonen meestijgen. Om een tekort aan leerkrachten te voorkomen, wat ook essentieel is voor toekomstig technisch personeel, moet de uitstroom vanuit het onderwijs onaantrekkelijk worden middels hogere lonen.

Daarnaast zal er door de energietransitie regionale werkloosheid ontstaan voor mensen in de sector *fossiele energie* (bijvoorbeeld brandstofaandrijving, klassieke chemie, staal, etc.). Nieuw arbeidsaanbod zal dan vrijkomen. Deze vrijgekomen arbeid kan vervolgens ten goede komen aan de technieken voor hernieuwbare energie.

Demografische en sociaaleconomische ontwikkelingen spelen een belangrijke rol in het potentiële arbeidsaanbod. Door de continue verhoging van de pensioenleeftijd, wordt de arbeidskrimp door vergrijzing enigszins afgeremd, maar nog steeds neemt het aanbod af door vergrijzing van de beroepsbevolking (Boon et al., 2020). In Hoofdstuk 3 werd al verteld dat er een grote vervangingsvraag is voor technisch personeel. Dit wordt voornamelijk gedreven door de vergrijzing (Bakens et al., 2021).

De krimp van de potentiële beroepsbevolking drijft lonen omhoog, wat prikkelend kan werken voor niet-werkenden of werkenden die niet fulltime werken. Mede door migratie en een relatief hogere geboorte dan sterfte in de bevolking neemt de bevolkingsgroei in Nederland toe tot 18,5 miljoen mensen (CPB, 2022). Daarnaast merkt Wetering et al. (2018) op dat jongeren zich in sterkere mate verschuiven richting de Randstad, waardoor er op de lange termijn een krimpend arbeidsaanbod zal ontstaan in de provincies Noord-Brabant, Limburg, Zeeland, Gelderland, Drenthe, Overijssel, Friesland en Groningen. Voor 2030 wordt geschat dat de helft van alle Nederlandse huishoudens is gevestigd in de Randstad (Boon et al., 2020). Als laatste zullen de opgelopen leerachterstanden door de Coronacrisis tot vertraging van nieuw arbeidsaanbod leiden (CPB, 2022).

5 Spanningen en matching van vraag en aanbod

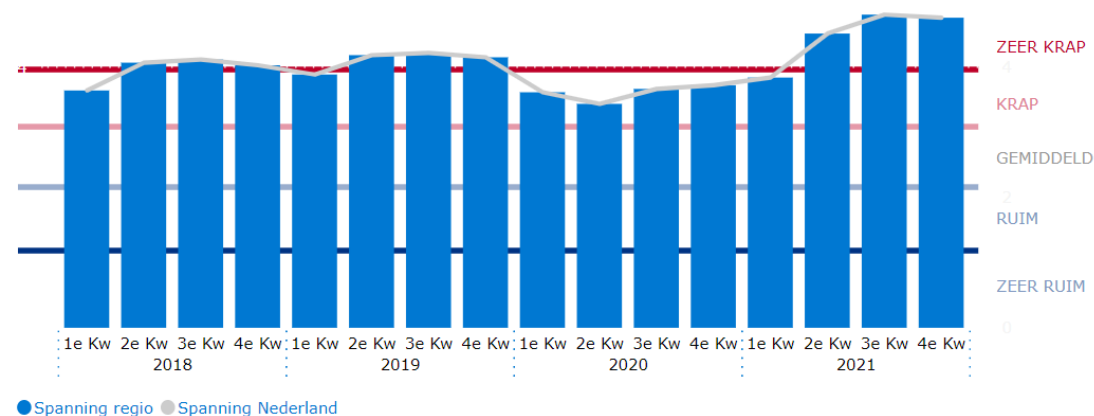
5.1 Inleiding

Hoofdstuk 5 verbindt de voorgaande hoofdstukken over vraag en aanbod. Het laat wederom zien dat de arbeidsmarkt gespannen is door toenemende vraag naar werknemers met een achterblijvend aanbod.

5.2 Spanningen op de arbeidsmarkt

Spanningen op de arbeidsmarkt zullen ontstaan wanneer het arbeidsaanbod ontoereikend is voor de gevraagde arbeid. Het arbeidsaanbod kan zowel kwantitatief als kwalitatief ontoereikend zijn. Wanneer er rekening wordt gehouden met de interactie tussen vraag en aanbod, komt de prijs van arbeid tot stand. Dit heeft tot gevolg dat er een continue interactie plaatsvindt tussen prijzen, aanbod en vraag in de Nederlandse arbeidsmarkt (Weterings et al., 2018). Dit impliceert dat een toenemende vraag naar arbeid kan worden gedempt door stijgende lonen als gevolg van krapte. Bedrijven hebben in dit geval minder budget beschikbaar om alle vacatures te vervullen, wat ertoe kan leiden dat er netto minder groei in werkgelegenheid nodig is. Wanneer er niet aan de vraag naar arbeid kan worden voldaan door zowel kwantitatieve als kwalitatieve aanbodtekorten, leidt dit tot spanningen en een arbeidstekort. Het UWV (2022) heeft een spanningsindicator samengesteld voor de arbeidsmarkt. Deze indicator geeft de druk weer van bestaande vacatures ten opzichte van het direct beschikbare arbeidsaanbod. Figuur 3 visualiseert de spanning voor technisch- en ICT-personeel tussen 2018 en 2021, waarbij elk jaar is opgedeeld in kwartalen. De figuur laat zien dat personeelswerfing in deze beroepsklassen uitermate lastig kan blijken.

Figuur 3 - Spanningsindicator voor technisch en ICT-personeel



Bron: (UWV, 2022a).

Weterings et al. (2018) verwachten dat de kortetermijnbeleidsaanpassingen en technologische ontwikkelingen ervoor moeten zorgen dat op lange termijn de spanningen op de arbeidsmarkt zijn afgenomen. Technologische innovatie die de arbeidsproductiviteit laat stijgen, zoals de mechanisering van de bouw, doet de vraag naar nieuw personeel afnemen onder de voorwaarde van ceteris paribus. Dit maakt de productie kapitaalintensiever en arbeidsextensiever.

5.3 Matching op de arbeidsmarkt

Sooriyaarachchi et al. (2015) geven aan dat de vele tekorten in arbeid die ontstaan zijn vanwege de energietransitie, op te lossen zijn door verbeterde arbeidscoördinatie van vraag en aanbod. Er heerst in dit geval informatie-asymmetrie op de arbeidsmarkt en bij opleidingsinstituten, aangezien soms nog onbekend is hoe opleidingstrajecten aangepast moeten worden om beter tegemoet te komen aan de vereiste vaardigheden. Hierbij is aangegeven dat er in het verleden beperkte samenwerking en communicatie was tussen de technische sector en de hogere opleidingsinstituten (Weterings et al., 2019). Daarnaast, zoals eerder is benoemd, zijn er regionale belemmeringen in de invulling van vacatures. Vooral aan de vraagkant is er te weinig informatie waar het arbeidsaanbod zich bevindt op regionaal gebied. Dit vereist verbeteringen in de coördinatie en transparantie van vraag en aanbod, zodat deze elkaar effectief vinden op regionaal gebied.

Mogelijke handelingsopties om fricties op de arbeidsmarkt te verminderen zijn er in veelvoud (Weterings et al., 2019). Aan de vraagkant kan bijvoorbeeld meer worden ingezet op automatisering en robotisering van het productieproces, ontwikkeling van energiezuinigere apparatuur en subsidieregelingen voor stimulering van innovatie ten behoeve van de energietransitie (Strietska-Ilina et al., 2011). Nederland beoefent het beleid van fiscale vergroening (Jansema-Hoekstra et al., 2018). Hierbij wordt de belasting op milieuvervuilende activiteiten verhoogd, terwijl de belasting op arbeidsinkomen wordt verlaagd. Er wordt in dit geval bijvoorbeeld een hogere energiebelasting voorgesteld op het gebruik van aardgas (Rijksoverheid, 2019). De winstgevendheid van bedrijven verandert mede met het vermogen om nieuw personeel aan te trekken. Dit komt doordat de productieprijzen stijgt in de milieuvervuilende sectoren ten opzichte van milieuvriendelijke sectoren, waardoor er sectorale verschuivingen optreden in de arbeidsmarkt. Studies laten wel zien dat fiscale vergroening tot weinig arbeidsaanbodveranderingen leidt wanneer de inkomensverdeling ongemoeid blijft (Jansema-Hoekstra et al., 2018). Hierdoor blijft de groei van werkgelegenheid achter bij een verschuivende werkgelegenheidsstructuur. Om die verschuiving van werkgelegenheid in goede banen te leiden, stimuleert de Nederlandse overheid bij- en omscholing van bestaand personeel. Daarnaast limiteert dit soort fiscaal beleid ook de impact van het reboundeffect, omdat het substitutie-effect teniet wordt gedaan (Alcott, 2005). Nog efficiënter zou volgens Alcott zijn om de uitstoot en productie van milieuvervuilende activiteiten, naast belastingen, een limiet op te leggen zoals in het Europese systeem voor emissiehandel wordt gedaan.

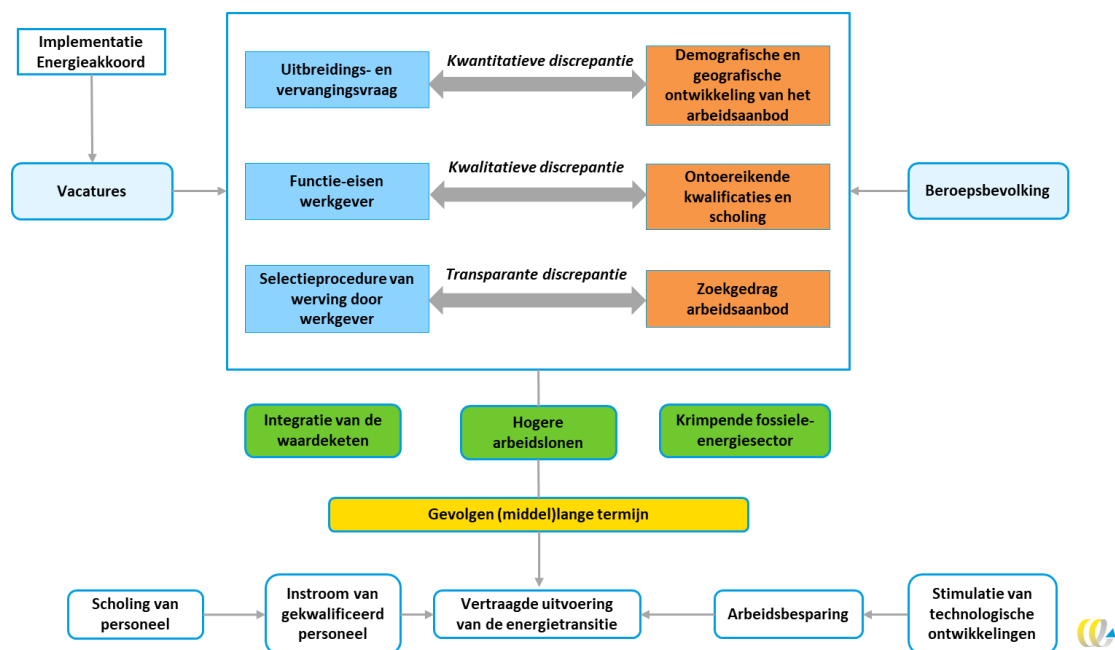
Op de aanbodkant kan ten eerste worden gekeken naar verbetering van de lonen en cao-voorwaarden (Strietska-Ilina et al., 2011). Daarnaast kan arbeiders van buiten Nederland worden gehaald. De overheid kan daarnaast meer inzetten op soepelere regelgeving omtrent kinderopvang of werken naast bijstandsuitkeringen.

Op kwalitatief gebied kan er ook beter gematcht worden tussen vraag en aanbod door bijvoorbeeld vernieuwde onderwijstrajecten die beter zijn afgestemd op de behoeften van de werkgever (Weterings et al., 2019). Hierbij moeten leerkrachten ook up-to-date worden gebracht op het gebied van innovatieve technologieën en milieukennis (Straatmeijer &

Koning, 2015; Strietska-Ilina et al., 2011). Daarnaast moet er de mogelijkheid bestaan (binnen het bedrijf) voor om- en bijscholingsprogramma's, passend bij de regionale vraag (SER, 2018). Belemmerend hierbij is dat er vaak een tekort is aan bètaleraren om technische studenten op te leiden (Bètalerarenkamer, 2022).

Concluderend: het is belangrijk dat de publieke sector transparant blijft in haar beleid voor de energietransitie. Hierbij moet duidelijk zijn welke aanpassingen er nodig zijn, welke vaardigheden dat vereist van werknemers, welke scholingstrajecten beschikbaar zijn en waar vraag en aanbod elkaar makkelijk kunnen vinden. De literatuurstudie laat duidelijk zien dat er voornamelijk op korte termijn discrepanties zijn op de arbeidsmarkt voor de sector Energie op kwalitatief, kwantitatief en transparant gebied. Deze transitie leidt tot aanpassingen op de arbeidsmarkt en in de energiesector, met hogere lonen, een krimpende fossiele-energiesector en een meer geïntegreerde waardeketen. De gevolgen van de verschillende tekorten zullen leiden tot een vertraagde uitvoering van de energietransitie. Hiervoor is aanvullend beleid nodig, bij- en omscholing en (overheids-)stimulering van onderzoek en ontwikkeling om zo arbeidsbesparingen te realiseren. Dit is samengevat in Figuur 4. Bijlage B vat Hoofdstuk 3, 4 en 5 samen in een mindmap.

Figuur 4 - Conceptueel raamwerk voor werkgelegenheid in de energietransitie



6 Het werkgelegenheidsmodel

6.1 Inleiding

Om preciezere inzichten te bieden in spanningen op de arbeidsmarkt voor de energietransitie, is door CE Delft een werkgelegenheidsmodel ontwikkeld dat de directe vraag naar banen in beeld brengt. De eerder benoemde spanningen verschillen per technologie en fase in de waardeketen. Als gevolg hiervan wordt er een module aan het bestaande werkgelegenheidsmodel toegevoegd dat de vraag naar arbeid verder onderverdeelt in arbeidskwalificatie en opleidingsniveau.

Directe werkgelegenheidsmodellen gebruiken arbeidsverdelingsfactoren per fase in de waardeketen. Een arbeidsverdelingsfactor is de ratio van specifieke arbeidsuren ten opzichte van de totale arbeidsuren. Cameron & Van der Zwaan (2015) geven bij een literatuurstudie naar werkgelegenheidsfactoren aan dat er te weinig onderzoek is gedaan naar conventionele fossiele energiebronnen. Het gros van de literatuur focust zich op hernieuwbare bronnen, zoals wind- en zonne-energie. Ook wordt aangekaart dat verdere specificering binnen energieproductietechnologieën niet haalbaar is met de huidige ontoereikende wetenschappelijke literatuur.

In dit hoofdstuk wordt eerst het bestaande werkgelegenheidsmodel van CE Delft besproken, waarna het volgende deelhoofdstuk behandelt hoe het model wordt uitgebreid met een extra module.

6.2 Opbouw werkgelegenheidsmodel

Het CE-werkgelegenheidsmodel is een spreadsheetgebaseerd analytisch model (Bachus, 2019). Het model is opgedeeld in Excelpagina's, genaamd *manager*, *constant* en *berekeningspagina* voor elke technologie die wordt geanalyseerd. De technologieën die worden meegenomen in dit model zijn:

- wind op land en zee;
- zonne-energie;
- biomassa;
- fossiele energiebronnen;
- waterstof;
- groengas;
- collectieve verwarming;
- all electric.

Daarnaast kijkt het model ook naar netverzwaring van het energiesysteem, aangezien de nieuwe duurzame energiebronnen aangesloten moeten worden op het elektriciteitsnetwerk. Dit model volgt de methodiek die geschetst is door Mather (1999). Op de *manager*-pagina bevinden zich de inputvariabelen waarmee het model rekent. Dit kan het investeringsbedrag zijn in euro's of de toegevoegde energiecapaciteit in kW. De *constante*-pagina geeft een overzicht van hoeveel geld of capaciteit er in de energietransitie is geïnvesteerd in 2020 of 2030. De *berekeningspagina* laat per technologie zien hoeveel arbeidsvraag (in fte) er wordt gecreëerd met de investering. Dit model neemt aan dat fte gelijk staat aan één fulltime job per jaar.

Academische studies laten zien dat de ontwikkeling en de implementatie van een energietransitie leidt tot een hogere vraag naar arbeid, gecorrigeerd voor een krimp in de fossiele energiesector (Weterings et al., 2019; Sooriyaarachchi et al., 2015). Het werkgelegenheidsmodel maakt onderscheid tussen directe en indirecte arbeid, waarbij directe arbeid activiteiten omvat die zich verhouden tot de kern van de technologie, zoals het onderhouden van windturbines op zee. Dit model laat alleen resultaten zien die zich verhouden tot de directe arbeidsprocessen van een technologie. Daarentegen focust indirecte arbeid meer op de toelevering van grondstoffen en diensten om de productie van de technologie te ondersteunen (Cameron & Van der Zwaan, 2015; Sooriyaarachchi, 2015). Een voorbeeld hiervan is het leveren van aluminium voor de constructie van de rotorbladen van windmolens.

Voor elke technologie splitst het model de aanvoerketen op in onderzoek & ontwikkeling (O&O), productie, transport & installatie en operatie & onderhoud (O&M). De werkgelegenheid die ontstaat kan tijdelijk of permanent zijn. Hierin wordt ook onderscheid gemaakt in het CE-werkgelegenheidsmodel. Tijdelijke arbeid ontstaat in transport & installatie, permanente arbeid ontstaat in de operatie- & onderhoudsfase (Llera et al., 2013; Cameron & Van der Zwaan, 2015). Permanente arbeid blijft doorlopen nadat een energietechniek operationeel is geworden.

Technologieën ontwikkelen en verbeteren zich over de tijd, waardoor kosten afnemen, kostenefficiëntere investeringen tot stand komen, de capaciteit toeneemt en de afschrijvingen tezamen met de directe werkgelegenheidseffecten veranderen. Daaropvolgend laten leercurves de relatie zien tussen investeringen (kosten) en energieproductiecapaciteit van een bepaalde technologie. Deze historische informatie voor elke technologie is ingebouwd in het model om zo schattingen te maken om toekomstige directe werkgelegenheidsopportunities te berekenen. In de fase van onderzoek & ontwikkeling wordt de fte berekend door de looncoëfficiënt van de totale kosten in O&O te vermenigvuldigen met het investeringsbedrag. Dit model rekent met twee verschillende kostenaandeelsscenario's voor onderzoek en ontwikkeling, omdat er onzekerheid heerst over het exacte aandeel van de kosten in de fase van onderzoek & ontwikkeling. Dit aandeel is 5 of 10%. Hierna moeten de totale loonkosten van het investeringsbedrag worden gedeeld door de gemiddelde loonkosten van een werknemer in O&O. Als formule wordt dat als volgt uitgeschreven:

$$F_{i,c,t} = \sum \frac{S_{i,t} * \alpha_{i,t}}{w_{i,c,t}} \quad (1)$$

Hierbij is $F_{i,c,t}$ de hoeveelheid werk die wordt gecreëerd voor technologie i , tijd t en fase in de aanvoerketen c . $S_{i,t}$ is het investeringsbedrag in tijd t en fase in de aanvoerketen c . $\alpha_{i,t}$ is een percentage dat laat zien welk aandeel *loonkosten* heeft in de totale kosten in tijd t en fase in de aanvoerketen c . $w_{i,c,t}$ zijn de gemiddelde loonkosten per werknemer voor technologie i , tijd t en fase in de aanvoerketen c .

De berekening van de werkgelegenheidseffecten van de fases in de productie, transport & installatie en operatie & onderhoud werken net wat anders.

$$F_{i,c,t} = \sum S_{i,t} * I_{i,t,c} \quad (2)$$

Hierbij is $I_{i,t,c}$ de arbeidsintensiviteit van een technologie voor technologie i , tijd t en fase in de aanvoerketen c per € 1.000.000,00. De arbeidsintensiviteit ($I_{i,t,c}$) is afhankelijk van de technologische leercurves. Ze worden geformuleerd als volgt:

$$I_{i,t,c} = I_{i,c,base} * C_{i,t}^{\delta_i} \quad (3)$$

$I_{i,c,base}$ geeft de arbeidsintensiviteit van een technologie voor technologie i , tijd 0 en fase c in de aanvoerketen per € 1.000.000,00. $C_{i,t}^{\delta_l}$ is de totale cumulatieve capaciteit in MW van een technologie voor technologie i in tijd t . δ_l is de helling van de leercurve, die weergeeft hoe snel een technologie kan worden aangeleerd voor implementatie in de energietransitie. δ_l laat zien hoe snel de vraag naar arbeid afneemt als de capaciteit verdubbelt. Dit impliceert dat werkgelegenheidsfactoren kunnen verminderen over tijd door toegenomen efficiëntie.

Al met al maakt dit model gebruik van uniek samengestelde werkgelegenheidsfactoren, wat ongebruikelijk is in de literatuur, maar wel voordelig (Cameron & Van der Zwaan, 2015).

6.3 Uitbreiding werkgelegenheidsmodel

Zoals aangegeven in Hoofdstuk 1, moet er inzicht worden verkregen in de aard en samenstelling van de gevraagde arbeid in fte per technologie. Deze paragraaf behandelt de methode hoe het model wordt uitgebreid. Vervolgens wordt het uitgebreide model getoetst op een relevante casus in Paragraaf 7.3.

6.3.1 Methode

De literatuurstudie in Hoofdstuk 7 schetst op een kwalitatieve manier welke beroepsgroepen en opleidingsniveaus relevant zijn in elke fase per technologie. De kennis uit Hoofdstuk 7 wordt vervolgens gebruikt om voor elke technologie en fase een indeling te maken naar beroepsgroepen en opleidingsniveaus.

De daadwerkelijke gependeerde arbeidsuren in de energietransitie zijn onbekend. Daarom is voor een CBS-dataset gekozen, waarbij de arbeidsuren voor verschillende beroepsgroepen worden gepresenteerd voor Nederland in het algemeen (CBS, 2022). Deze data worden door het CBS gepresenteerd in breedtes van: 0 tot 12 uur, 12 tot 20 uur, 20 tot 35 uur en 35 tot 40 uur. De relevante beroepen met de arbeidsuren worden gepresenteerd in Tabel 3.

Tabel 3 - Arbeidsduur per BRC-beroepsgroep

Beroepsgroep met BRC code	Arbeidsduur: minder dan 12 uur per week	Arbeidsduur: 12 tot 20 uur per week	Arbeidsduur: 20 tot 35 uur per week	Arbeidsduur: 40 uur
Beroep	X 1.000	X 1.000	X 1.000	X.1 000
0321 Vertegenwoordigers en inkopers	4	2	32	117
0412 Financieel specialisten en economen	3	1	18	64
0414 Beleidsadviseurs	2	1	29	49
0421 Boekhouders	9	5	37	70
0422 Zakelijke dienstverleners	6	3	33	75
0435 Transportplanners en logistiek m.	5	6	39	145
0531 Managers productie	0	0	3	43
0532 Managers logistiek	0	0	2	16
0533 Managers ICT	0	0	1	21
0611 Overheidsbestuurders	2	1	6	18
0612 Overheidsambtenaren	1	2	29	46
0621 Juristen	2	2	19	52
0711 Biologen en natuurwetenschappers	1	1	10	26
0712 Ingenieurs (geen elektrotechniek)	3	1	23	118
0713 Elektrotechnisch ingenieurs	0	0	1	15

Beroepsgroep met BRC code	Arbeidsduur: minder dan 12 uur per week	Arbeidsduur: 12 tot 20 uur per week	Arbeidsduur: 20 tot 35 uur per week	Arbeidsduur: 40 uur
0714 Architecten	1	1	12	33
0721 Technici bouwkunde en natuur	4	3	21	81
0722 Productieleiders industrie en bouw	1	0	6	47
0723 Procesoperators	0	0	8	17
0731 Bouwarbeiders ruwbouw	2	2	11	47
0732 Timmertieden	1	1	11	66
0733 Bouwarbeiders afbouw	1	0	5	34
0734 Loodgieters en pijpfitters	1	0	4	30
0741 Metaalbewerkers en constructiewerkers.	1	1	5	30
0742 Lassers en plaatwerkers	0	1	4	22
0744 Machinemonteurs	2	1	6	44
0753 Productcontroleurs	1	1	4	12
0761 Elektriciens en elektronicamonteurs	2	1	12	77
0771 Productiemachinebedieners	4	2	19	57
0772 Assemblagemedewerkers	2	2	6	17
0781 Hulpkrachten bouw en industrie	8	5	19	28
0811 Software- en applicatieontwikkelaars	6	3	46	222
0812 Databank- en netwerkspecialisten	1	1	13	59
0821 Gebruikersondersteuning ICT	3	2	10	34
0911 Land- en bosbouwers	2	1	4	22
1211 Dekofficieren en piloten	1	0	4	22
1214 Vrachtwagenchauffeurs	4	3	8	79
1215 Bedieners mobiele machines	3	1	8	52

Bron: (CBS, 2022).

Tabel 3 laat zien hoeveel mensen er per beroepsgroep en per arbeidsduur in Nederland werken. Van de arbeidsduurclassificaties zijn vervolgens gemiddeldes genomen, zodat de arbeidsduur uitgedrukt kan worden in gemiddelde fte per beroepsgroep¹¹. Vervolgens wordt er voor elk beroep in elke fase per technologie gekeken wat het relatieve aandeel is in de totale hoeveelheid arbeidsuren per fase en technologie. De indeling van beroepsgroepen is voor elke technologie apart uitgezocht door middel van beschikbaar literatuur. De berekende percentages van de CBS-data zijn statisch, wat impliceert dat de relatieve verhoudingen tussen beroepen niet veranderen over de tijd. Dit is minder aannemelijk, omdat technologische ontwikkelingen de opschaling van duurzame energieproductie kapitaalintensiever maken, waardoor arbeidsduurverhoudingen veranderen. Alhoewel het oorspronkelijke werkgelegenheidsmodel aannam dat over de tijd de gevraagde arbeid bij een constante investering daalt door de leercurve. Dit tezamen maakt dat de verhoudingen van de verschillende beroepsgroepen constant blijven, maar de totale vraag wel per fase krimpt over de tijd.

De data van het CBS kunnen een vertekend beeld schetsen over de daadwerkelijk gewerkte uren in de relevante sectoren van de energietransitie. Om dit te corrigeren, worden er interviews afgenomen met relevante experts voor wind op land en zee, zonne-energie,

¹¹ Er kon ook gekozen worden voor bandbreedtes, maar het verschil tussen het minimale en maximale aantal uur dat iemand in een bepaalde categorie kon werken, was maximaal 0,8%. Dit wordt geacht als een insignificant verschil om met bandbreedtes te werken.

biomassa en -gas en waterstof. In deze interviews wordt per technologie eerst gekeken naar de arbeidsmarkt voor de desbetreffende energieproductiemethode. Vervolgens wordt er gekeken of de indeling qua beroepsgroepen een correct beeld is van de werkelijkheid. Daarna worden de verhoudingen tussen beroepsgroepen per fase besproken. De input van de interviews dienen dus als leidraad voor de arbeidsverdelingen per beroepsgroep. Bijlage A geeft een overzicht van de geïnterviewde partijen in dit onderzoek weer.



7 Arbeidsmarktkwalificatie- en opleidingsniveauverdeling per technologie

7.1 Inleiding

Om de energietransitie te realiseren, is er veel specialistische kennis vanuit allerlei verschillende opleidingsniveaus nodig, zoals bouwkunde, rechten en economie. Een Europese studie, uitgevoerd door Blanco & Rodrigues (2009) over de directe werkgelegenheidseffecten van de energietransitie, suggereerde dat de beschikbaarheid van bestaande curricula ontoereikend is om nieuwe kennis of vaardigheden aan te leren, zoals windturbine-installatie. Daarnaast suggereerde de studie dat er gedurende een technische opleiding te weinig aandacht wordt geschonken aan de baankansen in de wind- of zonne-sector, bijvoorbeeld door het gebrek van stageaanbod. Hierdoor werden studenten niet goed gebonden aan de sector windenergie of zonne-energie en gingen regelmatig aan de slag in een andere technische sector. Om de toenemende vraag naar arbeid het hoofd te bieden, is meer inzicht nodig in de gevraagde kwalificaties en opleidingsniveaus. Hiervoor is zowel laag- als hoogspecialistische arbeid nodig (Bray et al., 2022). Er is wel meer inzicht nodig in de gevraagde kwalificaties per opleidingsniveau. Voor een offshore bouwkundige bijvoorbeeld, is het naast de reguliere competenties die aangeleerd worden op de opleiding bouwkunde, ook belangrijk dat die persoon veilig kan werken op boten en offshore platforms.

7.2 Vaardigheden in de energietransitie

Llera et al. (2013) laten zien dat bij het onderzoek, de ontwikkeling en de fabricage van nieuwe duurzame energiebronnen, zoals wind- en zonne-energie, een hoge mate van specialisatie en kennis is vereist. De mate van hoge specialisatie neemt verder af naarmate de technologie zich in een verdere fase binnen de waardeketen bevindt. De waardeketen kan worden opgedeeld in onderzoek & ontwikkeling, productie, transport & installatie en operatie & onderhoud. Voor elke fase van de keten hebben de banen een grote verscheidenheid aan vereiste skills en opleidingsniveaus (Sooriyaarachchi et al., 2015). Voor elke duurzame energieoptie wordt een gespecificeerde aanvoerketen geschetst. De kernvaardigheden variëren van bouwkunde, techniek en marketing tot administratie en klantenservice. Vaak is het ook zo dat veel onderzoek en productie in het buitenland plaatsvindt, maar door de hoge specialistische kennis vindt veel onderzoek plaats in Nederland, op het gebied van biomassa, wind- en zonne-energie (Weterings et al., 2018). Voor zon wordt relatief veel onderzoek verricht naar de effectieve toepasbaarheid op land en zee (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2020). Er wordt daarom ook verwacht dat de vraag naar arbeid binnen onderzoek & ontwikkeling zal toenemen door intensivering van technologische toepassingen in de energietransitie (Sooriyaarachchi et al., 2015).

Naast deze kernvaardigheden zijn er ook veel activiteiten en beroepen nodig om een geschikt klimaat te maken voor de uitvoering van projecten (Sooriyaarachchi et al., 2015). Zo zijn er bijvoorbeeld advocaten nodig die juridisch moeten controleren of een windmolenpark op een bepaalde plek mag worden gevestigd. Ook zijn er verzekeraars nodig om



financieringsrisico's te spreiden en te beperken (de-risken) en zo de constructie van windparken financieel aantrekkelijker te maken. Nog meer voorbeelden van beroepen die de energietransitie (in)direct mogelijk maken - ook wel *enablers* genoemd -, zijn bijvoorbeeld: lobbyisten, mediators, milieu-NGO-medewerkers, beleidsmedewerkers, leraren en journalisten. Dit model beperkt zich echter alleen tot de directe vraag naar arbeid.

Voor vaardigheden binnen beroepen kan er onderscheid worden gemaakt tussen 'hard' en 'soft' skills. Hard skills zijn aan te leren vaardigheden, vaak toegespitst op een bepaald beroep en aantoonbaar door middel van diploma's. Een voorbeeld hiervan is de beheersing van een vreemde taal of het kunnen coderen. Het UWV (2021) legt uit dat de hard skills verder opgedeeld kunnen worden in activiteiten zoals gegevens analyseren, elektronische apparaten repareren of programmeren. Voor al deze activiteiten kunnen weer bijpassende taken genomen worden. Zo kun je bij programmeren als taak hebben om machines te programmeren of software te ontwikkelen. Tabel 4 geeft verschillende voorbeelden weer voor hard en soft skills.

Daarentegen zijn soft skills minder goed aantoonbaar en niet toegespitst op een beroep. Het bepaalt vaak de kwaliteit van functioneren van een persoon in samenwerkingsverband, zoals goed kunnen communiceren of empathisch kunnen denken. Het is vaak persoonsafhankelijker hoe goed deze vaardigheden zijn ontwikkeld. Soft skills kunnen bijvoorbeeld *betrouwbaarheid* of *integriteit* zijn.

Het is voor werknemers in de energietransitie belangrijk om flexibel te zijn in welke hard en soft skills relevant zullen zijn. De energietransitie verandert voor vele beroepen de inhoud van het werk, waardoor opleidingsinstituten geen kant-en-klare werknemer kunnen afleveren. Op lange termijn blijft het ook lastig welke vaardigheden relevant zullen zijn (SER, 2018). Wat wel duidelijk is, volgens de SER (2018), is dat de energietransitie het gevraagde opleidingsniveau van werknemers omhoog krypt.

Tabel 4 - Voorbeelden van hard en soft skills

Soft skills	Hard skills
Aandacht voor anderen	Beheersing van een (programmeer)taal
Beslissingen nemen	Data-analyse en visualisatie
Netwerken	Academisch schrijven
Samenwerken	Snel typen
Vakdeskundig te werk gaan	Boekhouding
Betrouwbaar	Presenteren

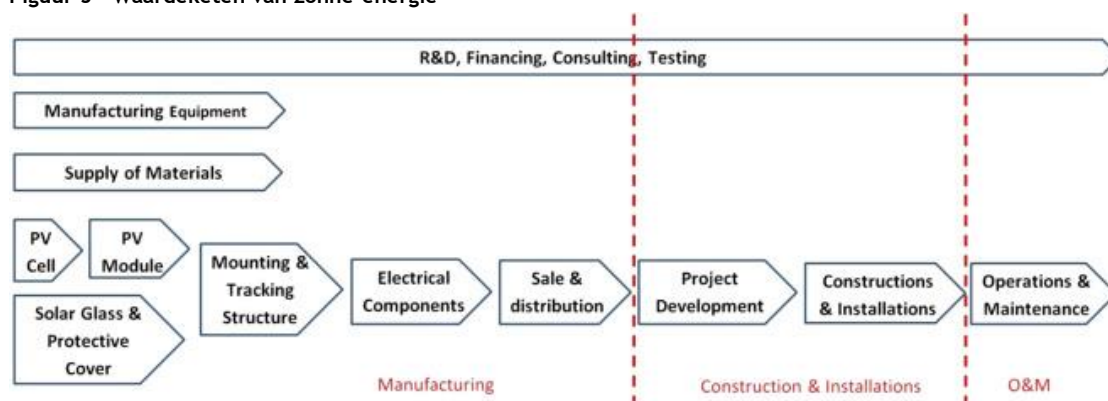
Bron: (UWV, 2021).

In de energietransitie zijn vaardigheden nodig die gekenmerkt worden door technische en analytische vaardigheden, waarbij datageletterdheid steeds belangrijker wordt (Bray et al., 2022). Dit fenomeen is vooral zichtbaar in de bouwsector (Bowen et al., 2018). Informatieprocessen en het management daarvan worden steeds belangrijker door de gehele waardeketen (Bray et al., 2022). Hierna wordt voor zonne-energie, wind op land en zee, biomassa, energiebesparingsmethoden en het energiedistributienetwerk de waardeketen geanalyseerd op basis van arbeidskwalificaties en opleidingsniveaus. Indien mogelijk wordt er gekeken naar de buitenlandse betekenis voor elke technologie binnen de waardeketen.

7.3 Zonne-energie

Zonne-energie is een snelgroeiende sector in Nederland. De huidige stijging van de energieprijzen zorgt ervoor dat de aanschaf van zonnepanelen aantrekkelijker wordt voor particulieren. De zonnepanelen vinden voornamelijk hun oorsprong in Aziatische landen, dus investeringen in deze technologie zal tot weinig extra arbeidsvraag leiden voor de productie van de panelen. Dit is ook geverifieerd in de interviews met experts op het gebied van zonne-energie. De hoge vraag met een achterblijvend aanbod van zonnepaneel-installateurs zorgt ervoor dat er lange wachtlijsten zijn voor zonnepanelen. Zonne-energie kan zowel worden toegepast op daken van bedrijven en particulieren als bij zonneparken in weilanden. De waardeketen van zonne-energie is weergegeven in Figuur 5.

Figuur 5 - Waardeketen van zonne-energie



Bron: (Sooriyaarachchi et al., 2015).

Onderzoek en ontwikkeling

Werkzaamheden en functies

In de fase van O&O wordt veel onderzoek verricht naar de verbetering van de zonnecel-module. Dit vereist technische kennis van elektriciteitssystemen (Sooriyaarachchi et al., 2015). Natuur- en scheikundigen onderzoeken de thermodynamische capaciteiten van zonnepanelen (Hamilton, 2011). Mechanische en elektrotechnische bouwkundigen doen onderzoek naar de verbetering van de gebruiksefficiëntie van zonnepanelen (Hamilton, 2011). Deze bouwkundigen worden onderscheiden van andere onderzoekers; dit werd benadrukt in de interviews. ICT-developers ontwikkelen software voor gebruikstoepassingen binnen de zonnepaneelindustrie, zoals voor de ontwikkeling van sensoren. Voor de ontwikkeling van deze technologie wordt in de ontwerpfase vaak gebruik gemaakt van een subsidie-adviseur of financieel adviseur om onderzoek te bewerkstelligen (UWV, 2022b). Uit de interviews blijkt dat dit een zeer klein deel van de arbeidsuren bestrijkt, van maximaal 2%. Consultants hebben daarnaast een grote rol in adviesrapporten voor de aanleg van zonnepanelen en -parken (Konings & Van Dril, 2016). Dit wordt wel betwist in de interviews voor zonne-energie. Hierin wordt aangegeven dat consultancy vaak onder het kopje van onderzoekers valt en daarom irrelevant is. Er is dus voor gekozen om deze beroepsgroep weg te laten voor zonne-energie, omdat het te veel raakvlak heeft met de onderzoekers en engineers. De getallen voor consultancy zijn daarom opgenomen in de twee groepen *onderzoekers* en *engineers*. De werkzaamheden in onderzoek en ontwikkeling worden verder ook volgens Ligtoet et al. (2016) uitgevoerd door software engineers, elektrotechnici en een klein deel door planologen. Planologen denken projecten uit op

grootschalig niveau in de realisatie van het aanleggen van zonnepanelen. Daarnaast is er ook planning nodig voor de onderzoekwerkzaamheden.

Uit interviews is naar voren gekomen dat assemblagemedewerkers ook nodig zijn voor proces- en productverbetering. Onderzoekers boeken bijvoorbeeld een productielijn die bediend wordt door assemblagemedewerkers voor design en productontwikkeling. Wanneer een onderzoek van dit type wordt uitgevoerd, zijn de manuren ongeveer gelijk verdeeld over assemblagemedewerkers en onderzoekers. Assemblagemedewerkers hebben dan een aandeel van ongeveer 5%. Daarnaast hebben onderzoekers en bouwkundigen de meeste uren in deze fase, wat gezamenlijk uitkomt op ongeveer 75% in de gehele fase van onderzoek en ontwikkeling. Onderzoekers op mbo-niveau 4 voeren ook werkzaamheden uit, wat een aandeel van 30% is van de totale uren.

Opleidingsniveau

De natuurkundigen, scheikundigen, bouwkundigen en ICT-specialisten zijn voornamelijk op wo-niveau opgeleid (Hamilton, 2011). Ottens (2016) geeft aan dat in deze fase het meeste werk wordt verricht door projectleiding, consultancy en juristen op minimaal hbo-niveau. Een deel hiervan is ook op mbo-niveau 4 opgeleid, blijkt uit de interviews. UWV (2022b) geeft aan dat sommige werkvoorbereidende taken door mbo-niveau-4-opgeleid personeel kan worden uitgevoerd. Mbo-personeel komt dan vaak te pas om advies aan particulieren te geven over de aanleg van zonnepanelen. Daarnaast kunnen ze ook als kwartiermeesters fungeren.

Buitenlands aandeel

Wat betreft zonne-energie wordt er veel kennis en ervaring op het gebied van onderzoek en ontwikkeling geïmporteerd uit landen zoals Duitsland of Saudi-Arabië (Fragkos & Paroussos, 2018; Koning & Van Dril, 2016). De Nederlandse partijen zijn vaak uit de markt geconcentreerd door de lagere prijsmarges in het buitenland. Deze lagere marges impliceren dat er minder budget is voor innovatie (Koning & Van Dril, 2016).

Tabel 5 geeft de indeling weer voor zonne-energie in de fase van onderzoek en ontwikkeling.

Tabel 5 - Indeling van zonne-energie voor onderzoek en ontwikkeling

Research & Development phase	IT/ICT	Engineer	Policy officer	Assembly workers	Financial	Research	Project planning
Mbo-2, geen startkwalificatie	0,00%	0,00%	0,00%	2,50%	0,00%	0,00%	0,00%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	0,00%	0,00%	0,00%	2,50%	0,00%	11,25%	3,25%
Hbo, wo	7,50%	37,50%	4,00%	0,00%	2,00%	26,25%	3,25%

Productie

Werkzaamheden en functies

Veel arbeid verschuift van de installatie naar de fabriekshallen, waarbij het in Nederland zo is dat technici in toenemende mate in de productiefase werken in plaats van in de installatiefase (Ligtvoet et al., 2016). Deze verschuiving ontstaat doordat veel onderdelen nu

geprefabriceerd¹² afgeleverd worden. Op de werkplaats controleren hoogopgeleide technici op het gebied van elektrotechniek hoe de assemblagemedewerkers de zonnepanelen in elkaar hebben gezet. Vaak moeten projectontwikkelaars in deze fase kennis toepassen van ICT-personeel, omdat onderdelen op maat via modellersoftware worden besteld en de productieprocessen zijn geautomatiseerd (Hamilton, 2011). Hierin moet het installatieproces worden ingetekend. Als gevolg van de toenemende applicatie van geprefabriceerde onderdelen, vervaagt de scheidingslijn tussen productie en installatie, en daarmee ook de functies. Hamilton (2011) claimt dat machinemonteurs, lassers, glazenmakers, coatingbedieners, elektrotechnici en industriële productiemangers de belangrijkste beroepen zijn in deze fase. Verder vindt er coördinatie plaats van de inkoop en verkoop van de productieonderdelen.

Uit interviews blijkt dat het zwaartepunt in de arbeidsverhoudingen voornamelijk ligt bij assemblagemedewerkers en niet bij de ICT-specialisten. Voor ongeveer elke tien assemblagemedewerkers zijn er drie mensen op coördinatie en is er minder dan één persoon aanwezig voor de ICT. Daarnaast zijn er ongeveer twee bouwkundigen of monteurs voor onderhoud. De bouwkundigen of monteurs zijn gelijkmatig op mbo-niveau 4 en hbo+-niveau opgeleid.

Opleidingsniveau

Voor zonne-energie wordt het werk veelal verricht door mbo-gechoold personeel en een kleiner deel is hbo-gechoold, wat meer gefocust is op coördinatie en controle (Koning & Van Dril, 2016; Hamilton, 2011). ICT-specialisten zijn vaak vanaf hbo-niveau opgeleid (Ottens, 2016).

Buitenlands aandeel

Steeds meer onderdelen van productie vinden plaats in Aziatische landen en leveren weinig werkgelegenheid op op het gebied van productie in Nederland (Fragkos & Paroussos, 2018). Onderdelen worden geprefabriceerd in het buitenland en verscheept of met de trein geëxporteerd naar Nederland.

Tabel 6 geeft de indeling weer voor zonne-energie in de fase van productie.

Tabel 6 - Indeling van zonne-energie voor productie

Manufacturing phase	Coordination	ICT/IT	Assembly workers	Electrical and mechanical engineers
Mbo-2, geen startkwalificatie	0,00%	0,00%	31,25%	0,00%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	0,00%	0,00%	31,25%	6,25%
Hbo, wo	18,75%	6,25%	0,00%	6,25%

¹² Losse bouwelementen worden hierbij omgezet tot makkelijk installeerbare montageonderdelen. Dit versnelt de bouwtijd en reduceert kosten wanneer gekeken wordt over de gehele waardeketen, en het standaardiseert productie, waardoor de kwaliteit beter gewaarborgd kan worden (Samenwerkingsorganisatie Beroepsonderwijs Bedrijfsleven, 2021).



Transport & installatie

Logistieke functies

De meeste Nederlandse arbeid voor zonne-energie ontstaat binnen de waardeketen in de fase van transport & installatie. Interviews geven aan dat de inkoop een belangrijk onderdeel is van de installatie, met een aandeel van ongeveer 10% van de totale arbeidsuren in deze fase. Doordat een groot deel van de productie in het buitenland plaatsvindt, worden de zonnepanelen vaak verscheept of per trein vervoerd. Dit vereist dus de inzet van havenarbeiders en soms van maritiem logistiek personeel (Koning & Van Dril, 2016).

Installatiefuncties

Voordat zonnepanelen worden geïnstalleerd, verrichten elektrotechnische bouwkundigen of werktuigbouwkundigen soms algemene werkvoorbereidingen. Uit interviews blijkt dat dit een aandeel heeft van maximaal 3% tot 5%. Het plaatsen en installeren van zonnepanelen wordt door zonnepaneelmonteurs of door elektromonteurs gedaan. Hierbij zijn vakmensen betrokken, zoals zonnepaneelmonteurs, elektromonteurs, steigerbouwers en constructie-medewerkers (UWV, 2022b; Hamilton, 2011). Minimaal 70% van de werkzaamheden komt voor rekening van zonnepaneelinstallateurs en -monteurs (Koning & Van Dril, 2016).

Opleidingsniveau

Logistieke medewerkers kunnen vaak al als ongekwalificeerd personeel instromen. Logistieke professionals daarentegen, zijn vaker op mbo-niveau 4 opgeleid. Dit geldt voor elke technologie die in Hoofdstuk 6 wordt benoemd. Voor de installatie van zonne-energie is het personeel opgeleid op mbo- of hbo-niveau (Koning & Van Dril, 2016). Het meeste werk bij de aanleg van zonnepanelen op daken kan worden verricht door installateurs op mbo-niveau 3 of 4. Voor technische klussen, zoals de aanleg van zonneparken, moeten soms ook elektrotechnici ingezet worden, die opgeleid zijn op hbo-niveau (Koning & Van Dril, 2016). Constructie-medewerkers kunnen beginnen vanaf mbo-niveau 2.

Buitenlands aandeel

Een groot onderdeel van de zonnepaneelbranche zijn van oorsprong Duitse en Midden- en Oost-Europese bedrijven. Uit interviews blijkt dat veel kleine Nederlandse installatie-bedrijven uit de grond schieten door de financiële aantrekkelijkheid voor zonnepaneel-installatie. Dit wordt gedreven door de grote stijgende vraag. Europese bedrijven assisteren bij de installatie van zonnepanelen waar kennis ontbreekt op elektrotechnisch gebied (Fragkos & Paroussos, 2018; Koning & Van Dril, 2016).

Tabel 7 geeft de indeling weer voor zonne-energie in de fase van transport en installatie.

Tabel 7 - Indeling van zonne-energie voor transport en installatie

Transport & Installation phase	Electrical engineers	Procurement	Logistics	Solar panel installers	Construction workers
Mbo-2, geen startkwalificatie	0,00%	0,00%	4,00%	0,00%	2,00%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	0,00%	10,00%	4,00%	75,00%	2,00%
Hbo, wo	3,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%



Operatie en onderhoud

Werkzaamheden en functies

Elektriciteitscentrales en installatiebedrijven voorzien vaak het onderhoud van de geïnstalleerde zonnepanelen die zowel bij particulieren als bedrijven zijn geïnstalleerd. Nadat een particulier of nadat de sensoren in panelen aangeven dat er iets misgaat, moet er een onderhoudsteam naartoe gestuurd worden. Dit team kan bestaan uit elektriciens of zonnepaneelinstallateurs (Ligtvoet et al., 2016; Hamilton, 2011). Uit interviews blijkt dat dit naar verwachting ongeveer 60 tot 65% zal beslaan. Zonnepanelen moeten om de tien tot vijftien jaar onderhouden worden, waarbij vaak de elektrische omvormer vervangen moet worden door een elektricien voor de afschrijving van zonnepanelen. Datamonitoring en -analyse door operatiemanagers of ICT-personeel van zonneparken zijn daarnaast ook relevante activiteiten voor de operatie van zonnepanelen.

Opleidingsniveau

De exploitatie van zonne-energie wordt onderhouden door veelal mbo-geschoold personeel (Ottens, 2016). Elektriciens zijn bijvoorbeeld opgeleid op mbo-niveau 3 of 4. Uit interviews blijkt dat ICT-personeel en operatiemanagers voor de monitoring ook vaak zijn opgeleid op mbo-niveau 3 of 4.

Buitenlands aandeel

De exploitatie van alle technologieën zelf vindt volgens de SER volledig plaats door Nederlands personeel. Daarnaast is het zo dat bij de opwekking van duurzame energiebronnen de aanvoerketen zich meer lokaal bevindt ten opzichte van de opwekking van fossiele energie (Fragkos & Paroussos, 2018).

Tabel 8 geeft de indeling weer voor zonne-energie in de fase van operatie en onderhoud.

Tabel 8 - Indeling van zonne-energie voor operatie en onderhoud

Operation & Maintenance phase	Operation managers	ICT/IT	Solar panel installers
Mbo-2, geen startkwalificatie	0,00%	0,00%	0,00%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	0,00%	0,00%	63,00%
Hbo, wo	17,00%	20,00%	0,00%

7.4 Windenergie op zee

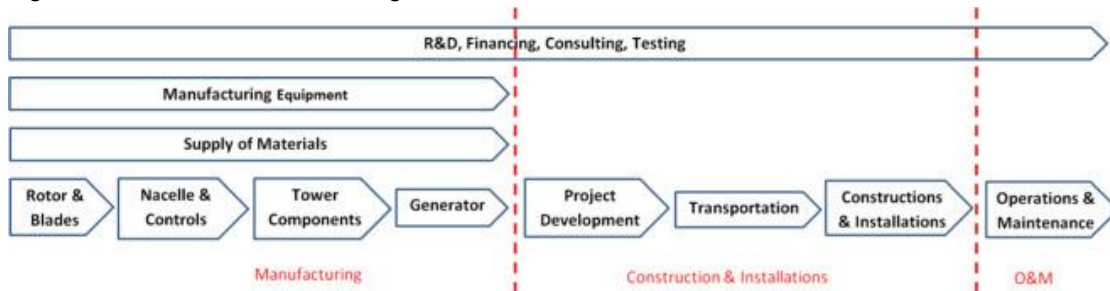
Windenergie op zee is een sterk internationaal georiënteerde sector. Veel arbeidsplaatsen in Nederland zijn ingevuld door buitenlandse werknemers. Voor wind op zee moet er veel aandacht worden geschonken aan de constructie van fundaties en in de onderzeese bekabeling. In deze sector is veel specialistische kennis vereist op het gebied van maritieme bouwkunde (Sooriyaarachchi et al., 2015).

Wind op zee heeft op het gebied van arbeidsinvulling een sterke internationale oriëntatie, waarbij meer dan de helft van het personeel uit het buitenland komt (Ottens, 2016). Verder geeft Ottens aan dat hooggeschoold personeel in deze sector wordt ingezet voor de ontwikkeling en middelbaar geschoold personeel voor de uitvoering (Ottens, 2016). Ottens maakt daarnaast kenbaar dat de beroepen veelal moeilijk met een functie te omschrijven zijn, maar eerder met een beroepsgroep. Dit komt doordat de functies niet statisch genoeg zijn. Daarnaast is over de gehele breedte de opleidingsverdeling 50% hbo+ en 50% mbo-niveau.



Tijdens de uitvoer van projecten ligt er meer nadruk op mbo-geschoold personeel. Uitvoerend personeel moet veel alreeds opgedane ervaring hebben in de offshore. De aanvoerketen van de windenergiesector wordt weergegeven in Figuur 6. Een belangrijke fase die mist in deze waardeketen, is de fase van ontmanteling en recycling, ofwel *decommissioning*, blijkt uit interviews. Dit is een fase die belangrijk is om mee te nemen, omdat met de ontmanteling rekening dient te worden gehouden door de gehele waardeketen.

Figuur 6 - Waardeketen van windenergie



Bron: (Sooriyaarachchi et al., 2015).

Onderzoek en ontwikkeling

Voordat een windpark op zee gebouwd kan worden, vinden er verschillende onderzoeken plaats die worden uitgevoerd door het Rijk (Knol & Coolen, 2019). Verschillende technische studies moeten worden uitgevoerd, zoals milieu-impact assessments die rekening houden met de zeebodem en de kust. Nadat een vergunning is uitbesteed aan een tender, worden er technische ontwerpen gemaakt met constructieplannen.

Werkzaamheden en functies

Binnen de fase van O&O komen vooral innovatiebedrevenheid, onderzoek en consultancy naar voren als de meest belangrijke vaardigheden. Beroepen in deze fase kunnen bijvoorbeeld softwaredeskundigen zijn, modellers, natuurkundigen, scheikundigen, werktuigbouwkundigen, consultants of planologen (Koning & Van Dril, 2016; Knol & Baken, 2018). Uit interviews met experts in de windindustrie, uitgevoerd door Ottens (2016), komt naar voren dat bij de ontwikkeling elektrotechnici, bouwkundigen en consultancyadviseurs betrokken zijn. Hierin wordt aangegeven dat *“de projectorganisatie bestaat uit mensen in de volgende vakgebieden: contractmanagement, veiligheids- en kwaliteitsmanagement, communicatie, data-analyse, archivering, financieel management, IT, HR en juridisch”*. Knol & Baken (2018) vatten samen dat de vier belangrijkste functies in deze fase milieu- en omgevingsonderzoek, ontwikkelingsdiensten, projectmanagement en locatieonderzoeken zijn. Bij deze functies komen verschillende kwalificaties kijken. Deze worden uitgevoerd door software engineers, (maritieme) bouwkundigen en planologen (Ligtvoet et al., 2016).

Uit interviews blijkt dat in de ontwikkelingsfase 9% van de arbeidsuren naar financiële experts gaat. De interviews zijn geïnterviewd met data van IRENA (2018). IRENA heeft data verkregen door interviews en enquêtes met stakeholders in de Europese windsector. Het arbeidsaandeel van financiële experts is dus correct ingeschat met de CBS-data. Juridische werknemers zijn daarentegen wel te laag ingeschat en zouden zo'n 20% van de arbeidsuren in beslag nemen in deze fase. ICT-experts beslaan in deze fase 6% van de arbeidsuren. Beleidsmedewerkers hebben een aandeel dat ligt tussen de 2 en 5% van de arbeidsuren in deze fase. Projectplanning neemt ongeveer 9% van de arbeidsuren op. Daarnaast zullen

verschillende type bouwkundigen of ingenieurs in deze fase ongeveer 27% van de arbeidsuren bestrijken. Alle overige uren zullen naar onderzoek gaan, wat uitkomt op ongeveer 24%.

Opleidingsniveau

Koning & Van Dril (2016) duiden aan dat dit werk een hoge deskundigheid vereist en het zijn vaak minimaal hbo- en wo-geschoolde mensen die werken in wind op zee en land. Beleidsmedewerkers kunnen ook op mbo-niveau worden opgeleid, maar voor energie-transitieprojecten moet vaak worden voldaan aan minimaal een hbo-opleiding.

Buitenlands aandeel

Het buitenland neemt een aandeel van 5% in van de totale investeringen in de fase van onderzoek en ontwikkeling (Koning & Van Dril, 2016). Knol & Baken (2018) suggereren ook een aandeel van 5% door het buitenland.

Tabel 9 geeft de indeling weer voor windenergie op zee in de fase van onderzoek en ontwikkeling.

Tabel 9 - Indeling van wind op zee voor onderzoek en ontwikkeling

Research & Development phase	IT/ICT	Engineers	Policy officers	Legal	Research	Project planning	Financial
Mbo-2, geen startkwalificatie	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Hbo, wo	6,00%	27,00%	5,00%	20,00%	24,00%	9,00%	9,00%

Productie

Werkzaamheden en functies

In deze fase worden de onderdelen gefabriceerd, waaronder de windturbine, de funderingspaal en de kabels (Knol & Coolen, 2019). Veel van deze onderdelen zijn van glasvezel en staal gemaakt. Deze productiewerkzaamheden vinden veelal plaats in het buitenland. Deze productiewerkzaamheden, die veel kosten met zich meebrengen, worden veelal door de multinational Siemens en Heerema uitgevoerd (Straatmeijer & Koning, 2015).

De windturbine met fundatie en bladen eisen hierbij 45% van het investeringsbedrag op. De kabels en de transformatoren nemen in totaal 14% op van de investeringsbedragen tijdens de productie. De monopile neemt 15% van het investeringsbedrag op. Deze werkzaamheden worden verricht in industriële bedrijven door (computergestuurde) machinisten/fabrieksarbeiders, monteurs, lassers, kwaliteitscontrole-inspecteurs, ingenieurs en planners, contractingenieurs en industriële productiemangers (Straatmeijer & Koning, 2015; Hamilton & Liming, 2010; Knol & Coolen, 2019). Deze medewerkers worden vaak gecoördineerd en bijgestaan door windturbinebouwkundigen (Hamilton & Liming, 2010).

Interviews die zijn afgenomen in dit onderzoek laten zien dat in deze fase bouwkundigen of ingenieurs een aandeel hebben van 10% van de arbeidsuren. Kwaliteits- en regulatiecontroleurs hebben daarnaast ook een aandeel van 10%. Deze werkzaamheden worden door Health and Safety Executives (HSE) uitgevoerd op voornamelijk hbo+-niveau. 10% van de werkzaamheden wordt op mbo-niveau 4 uitgevoerd. ICT blijkt in deze fase minder belang-

rijk te zijn dan verwacht, volgens de geïnterviewde experts, en zal maximaal 5% van de arbeidsuren bestrijken. Een categorie die toegevoegd is dankzij de interviews, zijn financiële of administratieve experts die de distributie en inkoop overzien, wat gebeurt door hbo- en mbo-personeel. Dit zal ongeveer 15% van de arbeidsuren eisen. De overige 60% wordt opgenomen door assemblagemedewerkers.

Opleidingsniveau

Voor wind op zee wordt productiewerk veelal verricht door mbo-geschoold personeel en een kleiner deel is hbo-geschoold, dat meer gefocust is op coördinatie en gegevensanalyse, zoals de ingenieurs of de planners (Koning & Van Dril, 2016; Straatmeijer & Koning, 2015). Meer dan 60% van het personeel is mbo-geschoold (Ottens, 2016).

Buitenlands aandeel

De SER (2018) geeft aan dat bijna alle ontstane werkgelegenheid door de investeringen neerslaat in het buitenland. Knol & Baken (2018) specificeren dat het buitenland een aandeel heeft van 82 tot 90%, uitgerekend in directe fte.

Tabel 10 geeft de indeling weer voor windenergie op zee in de fase van productie.

Tabel 10 - Indeling van wind op zee voor productie

Manufacturing phase	Procurement	ICT/IT	Assembly workers	Engineers	HSE
Mbo-2, geen startkwalificatie	0,00%	0,00%	30,00%	0,00%	0,00%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	7,50%	0,00%	30,00%	0,00%	1,00%
Hbo, wo	7,50%	5,00%	0,00%	10,00%	9,00%

Transport & installatie

Logistieke functies

Het vervoeren van windturbines is een enorme logistieke klus, vanwege de grootte en de waarde van de onderdelen. Coördinatiespecialisten hebben een grote rol in het plannen van het transport via land en zee (Hamilton & Liming, 2010). Er worden hiervoor slimme distributienetwerken aangelegd aan de hand van technologische ontwikkelingen. Deze netwerken worden gecoördineerd door logistieke professionals (Koning & Van Dril, 2016). Het materiaal wordt veelal vervoerd op land; eerst per trein en daarna per schip door de ‘marine crew’, zoals matrozen of bootmannen, kraanspecialisten en -operators, vjzelingenieurs en kapiteins (Knol & Baken, 2018; Knol & Coolen, 2019).

Uit het IRENA-rapport (2018) blijkt dat 51% van de arbeidsuren voor alleen het transport wordt bestreken door vrachtwagenchauffeurs. Daarna komen de bemanningsleden van schepen, met 26% aandeel van de uren voor transport. Het overige personeel bestaat uit schoonmaakpersoneel, logistieke experts, beveiligingsmedewerkers, kraanbestuurders en regulatie-experts.

Installatiefuncties

De uitvoering van projecten gerelateerd aan wind op zee wordt uitgevoerd door een ‘construction crew’ dat vaak bestaat uit elektrotechnici, kabelspecialisten, lassers, booroperators, kwaliteitsinspecteurs en bouwkundigen (Ottens, 2016; Knol & Coolen, 2019). Een



belangrijk onderdeel van dit team zijn de windturbineservicetechnici of de elektrotechnici. Het constructieteam staat vaak onder gezag van technisch werktuigbouwkundigen, ingenieurs en maritieme bouwkundigen, die op minimaal hbo-niveau zijn opgeleid (Ligtvoet et al., 2016; Hamilton & Liming, 2010).

Uit interviews blijkt dat veiligheidscontroles routinematig worden uitgevoerd en daarom ongeveer 5% van de totale arbeidsuren in deze fase opnemen. Dit gebeurt door personeel dat is opgeleid op hbo-niveau. ICT blijkt verder niet relevant te zijn in deze fase en zal niet meer dan 1% van de arbeidsuren opnemen. De construction crew neemt relatief gezien de meeste uren in beslag en komt uit op 75%. Dit percentage omvat ook de scheepsteden die nodig zijn voor het verplaatsen van het personeel. De verdeling van deze twee groepen komt voort uit 70% installatiemedewerkers en 30% bemanningsleden voor de schepen en het vrachtpersoneel. Engineers die ondersteuning geven aan de construction crew hebben een aandeel van ongeveer 7,5%. Ook zijn er kraan- en drilspecialisten nodig voor de installatie, die een aandeel hebben van 11,5%.

Opleidingsniveau

Windenergie op zee vereist vaker dan bij windenergie op land relatief hoger opgeleid personeel bij de installatie (Knol & Baken, 2018). De officieren op de schepen voor logistieke kwesties zijn allemaal hooggeschoold (Koning & Van Dril, 2016). Meer dan 50% van het installatiepersoneel is mbo geschoold (Ottens, 2016). Bouwkundigen die supervisie bieden, zijn op hbo+-niveau geschoold. Projectmanagers moeten over minimaal een bachelor beschikken (Hamilton & Liming, 2010).

Buitenlands aandeel

Knol & Baken (2018) zien dat Nederland tijdens de aanlegfase een aandeel heeft van 70 tot 85% van de totale directe fte. Vaak ontbreekt het bij Nederlandse arbeiders aan de vereiste maritieme certificaten voor installatie van windpalen op zee, waardoor ze intern extra maritieme arbeidskwalificaties moeten behalen (Ottens, 2016).

Tabel 11 geeft de indeling weer voor windenergie op zee in de fase van transport en installatie.

Tabel 11 - Indeling van wind op zee voor transport en installatie

Transport & Installation phase	ICT/IT	Logistics	Engineers	Construction workers	Crane and drill specialists	HSE
Mbo-2, geen startkwalificatie	0,00%	7,50%	0,00%	26,25%	0,00%	0,00%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	0,00%	7,50%	0,00%	26,25%	11,50%	0,00%
Hbo, wo	1,00%	7,50%	7,50%	0,00%	0,00%	5,00%

Operatie en onderhoud

Werkzaamheden en functies

Door een stijgend totaalvermogen van windenergie in Nederland, moet er ook steeds meer onderhouden worden. Vaak geven sensoren op afstand aan waar en wanneer elektronische onderdelen niet meer werken. Data-analisten voeren op afstand kwaliteitscontroles uit en houden de data-instroom van de windparken in de gaten (Knol & Coolen, 2019). Vervolgens moeten technici per boot naar een windmolen worden gestuurd. Daarnaast moet er veel



onderhoud worden gepleegd aan onderdelen waar geen sensoren voor zijn, zoals microscopische scheuren in het materiaal van de paal (Ligtvoet et al., 2016).

Onderhoud wordt uitgevoerd door gespecialiseerde installatiemonteurs (Ottens, 2016). Daarvan is het grootste gedeelte op mbo-niveau opgeleid. Een windturbine op zee wordt vier tot vijf keer per jaar geïnspecteerd door een onderhoudsteam van drie tot vier personen. Eén team onderhoudt circa 20 windmolens (Samenwerkingsorganisatie Beroepsonderwijs Bedrijfsleven, 2021). Hierbij wordt de toren geïnspecteerd, de as gesmeerd en worden versleten onderdelen vervangen (Knol & Baken, 2018). Daarnaast worden de kabels en de fundatie ook geïnspecteerd. Operatie- en onderhoudswerkzaamheden worden door een preventief of correctief onderhoudstechnicus uitgevoerd (Knol & Baken, 2018; Knol & Coolen, 2019).

Windturbineonderhoudstechnici hebben een aandeel van ongeveer 20%, blijkt uit interviews en het IRENA-rapport (2018). De ICT-experts die aan datamonitoring en -analyse doen, hebben een aandeel van 15%. Voor het vervoer van onderhoudsdelen en -personeel moet er logistiek personeel aanwezig zijn, dat een aandeel heeft van 9%. Bouwkundigen en ingenieurs hebben een aandeel van 15%. De operatiemanagers hebben een aandeel van 17%. Bovendien moet er ook juridisch personeel aan te pas komen voor eventuele juridische en milieutechnische aangelegenheden, en dat een bestrijkt 8%. Financieel en administratief personeel heeft een aandeel van 10%. De overige 6% gaat naar beveiligingspersoneel op mbo-niveau.

Opleidingsniveau

Het personeel is voornamelijk middelbaar opgeleid en in iets mindere mate hbo-opgeleid, en daarnaast volgen zij binnen het bedrijf nog extra opleidingen (Knol & Baken, 2018). Voor wind op zee bijvoorbeeld, krijgen arbeiders een jaar lang training door Siemens zelf op het gebied van Engels en elektrotechniek. Een preventief-onderhoudstechnicus is onder mbo-niveau 4 opgeleid. Daarentegen is een correctief-onderhoudstechnicus opgeleid op minimaal mbo-niveau 4, zoals een windturbinemonteur. Knol & Baken (2018) geven daarbij aan dat de verdeling twee derde FTE-capaciteit voor preventief-onderhoudstechnicus is en een derde voor correctief-onderhoudstechnicus. De bouwkundigen en dataspecialisten zijn op hbo+-niveau opgeleid (Knol & Coolen, 2019).

Buitenlands aandeel

De exploitatie van alle technologieën zelf vindt volgens de SER volledig plaats in en door Nederland (Knol & Baken, 2018). Dit komt deels doordat de vereiste certificaten om offshore werk te verrichten verschillen en niet goed overeenkomen binnen Europese landen (Ottens, 2016). Daarnaast is het zo dat bij de opwekking van duurzame energiebronnen de aanvoerketen zich meer lokaal bevindt ten opzichte van de opwekking van fossiele energie (Fragkos & Paroussos, 2018).

Tabel 12 geeft de indeling weer voor windenergie op zee in de fase van operatie en onderhoud.

Tabel 12 - Indeling van wind op zee voor operatie en onderhoud

Operation & Maintenance phase	Wind turbine service technicians	ICT/IT	Operation managers	Logistics	Electrical and mechanical engineers	Legal	Financial	Site security
Mbo-2, geen startkwalificatie	0,00%	0,00%	0,00%	3,00%	0,00%	0,00%	0,00%	3,00%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	20,00%	0,00%	0,00%	3,00%	0,00%	0,00%	0,00%	3,00%
Hbo, wo	0,00%	15,00%	17,00%	3,00%	15,00%	8,00%	10,00%	0,00%

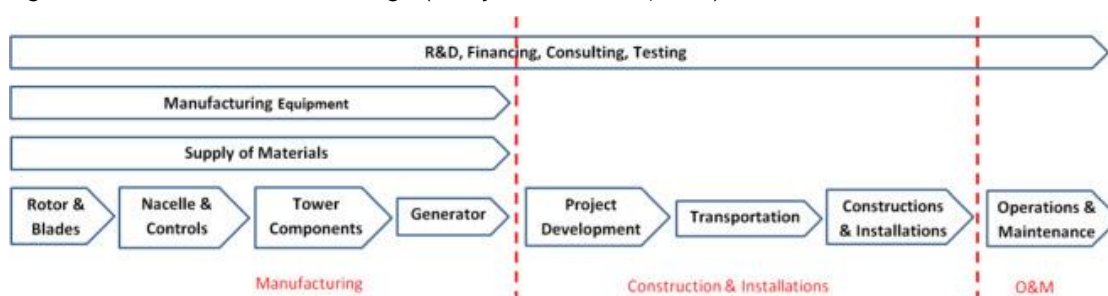
7.5 Windenergie op land

Windenergie op zee verschilt van windenergie op land, omdat er vooral meer logistieke planning moet plaatsvinden doordat er op zee wordt gewerkt (Sooriyaarachchi et al., 2015). Wind op land hoeft minder tijd te steken in de ondergrondse bekabeling vergeleken met wind op zee. Bij wind op land zijn de kernactiviteiten de projectontwikkeling en de installatie van de bladen, de monopile en de generator (Knol & Baken, 2018). In deze sector is veel specialistische kennis vereist op het gebied van bouwkunde (Sooriyaarachchi et al., 2015). Bijna al het personeel is in dienst op basis van een langdurig vast contract en is vaak van Nederlandse herkomst (Ottens, 2016).

Uit interviews en contact met verschillende organisaties op het gebied van windenergie blijkt dat de arbeidsverdelingen grotendeels overeenkomen met de verdelingen in windenergie op zee. Daarom is ervoor gekozen om dezelfde verdelingen te gebruiken als die vermeld staat bij windenergie op zee. Wel wordt er een correctie doorgevoerd voor het feit dat er niet op zee moet worden gewerkt voor de fase van transport & installatie en operatie & onderhoud. Deze correctie zal dan per benoemde fase hieronder besproken worden.

De aanvoerketen van de windenergiesector wordt weergegeven in Figuur 7.

Figuur 7 - Waardeketen van windenergie (Sooriyaarachchi et al., 2015)



Onderzoek en ontwikkeling

Werkzaamheden en functies

Lokale overheden, zoals gemeentes, zijn verantwoordelijk voor de bestemmingsplannen van windmolens op land. De parken zelf worden gebouwd door private partijen. De private partijen leveren onderzoeksrapporten en juridische documenten aan. Kwartiermakers zullen hiertoe een strategie ontwikkelen voor de realisatie van de constructie. Binnen de fase van O&O komen vooral innovatiebedrevenheid, onderzoek en consultancy naar voren als de meest belangrijke vaardigheden (Koning & Van Dril, 2016). Een groot deel van de consultancy is de communicatie van onderzoek en beleid naar een breder publiek. De belangrijkste beroepen in deze fase zijn softwaredeskundigen, modellers, natuurkundigen, werktuigbouwkundigen, consultants en planologen (Ligtvoet et al., 2016).

Ottens (2016) benadrukt dat in deze fase veel bodemonderzoeken worden uitgevoerd en projecten worden voorbereid door civiel- en elektrotechnisch personeel. Daarnaast is er veel werk voor juristen en consultants in verband met vergunningsverleningen. Dit is vaak werk met een meer tijdelijk karakter, waarbij personeel van project naar project wordt doorgeschoven.

In deze fase worden dezelfde arbeidsverdelingen gebruikt als bij windenergie op zee. Deze zijn als volgt: financiële experts op 9%, juridische werknemers op 20%, ICT-experts op 6%, beleidsmedewerkers op 5%, projectplanners op 9%, bouwkundigen of ingenieurs op 27% en onderzoekers op 24%.

Opleidingsniveau

Koning & Van Dril (2016) duiden aan dat bouwkundig werk een hoge deskundigheid vereist dat wordt verricht door vaak minimaal hbo- en wo-geschoolde mensen voor wind op land. Dit wordt verder ondersteund door Ottens (2016). Dit is qua opleidingsniveau vergelijkbaar met wind op zee. Calculators en kwartiermakers kunnen op minimaal mbo-niveau instromen als middenkaderfunctionaris bouw of infrastructuur, maar hebben vaak veel aanvullende functie-eisen nodig om in de windsector te werken (Koning & Van Dril, 2016).

Buitenlands aandeel

Het buitenland neemt 5% aandeel in van de totale investeringen in de fase van onderzoek en ontwikkeling (Koning & Van Dril, 2016). In deze fase is namelijk een hoge kennis van de Nederlandse wet- en regelgeving nodig, wat door de voertaal makkelijker is aan te leren aan mensen die Nederlands spreken.

Tabel 13 geeft de indeling weer voor windenergie op land in de fase van onderzoek en ontwikkeling.

Tabel 13 - Indeling van wind op land voor onderzoek en ontwikkeling

Research & Development phase	IT/ICT	Engineers	Financial	Legal	Research	Project planning	Policy officers
Mbo-2, geen startkwalificatie	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Hbo, wo	6,00%	27,00%	9,00%	20,00%	24,00%	9,00%	5,00%

Productie

Werkzaamheden en functies

Veruit het grootste gedeelte van de investeringskosten gaat naar de fabricage van windmolens. Veel van de werknemers zijn vaak generalistischer opgeleid, zodat ze kunnen meedraaien aan andere energieprojecten naast wind, zoals zonne-energie en biomassa (Ottens, 2016). Deze werkzaamheden worden verricht in industriële bedrijven door (computersturende) machinisten, monteurs, lassers, kwaliteitscontrole-inspecteurs en industriële productiemangers (Straatmeijer & Koning, 2015; Hamilton & Liming, 2010). Deze medewerkers worden vaak gecoördineerd en bijgestaan door windturbinebouwkundigen die berekeningen uitvoeren.

De arbeidsverdelingen in deze fase zijn als volgt: bouwkundigen of ingenieurs hebben een aandeel van 10%, kwaliteits- en regulatiecontroleurs wederom 10%, ICT-experts 5%, financieel en administratief personeel voor inkoop 15% en de assemblagemedewerkers hebben een aandeel van 60%.

Opleidingsniveau

Voor wind op land wordt dit werk veelal verricht door lbo- en mbo-geschoold personeel en een ander deel is minimaal hbo-geschoold, dat meer gefocust is op coördinatie en productontwikkeling (Koning & Van Dril, 2016; Straatmeijer & Koning, 2015). Het opgeleid personeel op minimaal hbo-niveau voert zoveel mogelijk projectplanning uit om sommige onderdelen al geprefabriceerd af te leveren. Een heel klein deel van de bouwkundigen die assisteren zijn op mbo-niveau opgeleid (Koning & Van Dril, 2016). Dit is niet meegenomen in het model.

Buitenlands aandeel

Het meeste werk dat op Nederland zal slaan in deze fase is de productie van de bekabeling en de kleinere onderdelen van de molen (Koning & Van Dril, 2016). De rest en het overgrote deel van fabricage vindt in het buitenland plaats.

Tabel 14 geeft de indeling weer voor windenergie op land in de fase van productie.

Tabel 14 - Indeling van wind op land voor productie

Manufacturing phase	ICT/IT	Assembly workers	Engineers	HSE	Procurement
Mbo-2, geen startkwalificatie	0,00%	30,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	0,00%	30,00%	0,00%	1,00%	7,50%
Hbo, wo	5,00%	0,00%	10,00%	9,00%	7,50%

Transport & installatie

Logistieke functies

Het vervoeren van windturbines is een enorme logistieke klus door de grote massa en de waarde van de onderdelen. Coördinatiespecialisten hebben een grote rol in het plannen van het transport via land (Hamilton & Liming, 2010). Het smart managen van distributienetwerken is net zoals bij zonne-energie belangrijker geworden. Technologische systemen worden ontwikkeld om bezorging nauwkeuriger te laten verlopen (Koning & Van Dril, 2016).



Deze nieuwe vaardigheden worden beoefend door logistieke professionals en materiaal-transporteurs. Het transporteren van windmolens over wegen is vaak een logistieke uitdaging dat veel vrachtpersoneel vraagt (Ligtvoet et al., 2016).

51% van de arbeidsuren zijn afkomstig van de vrachtwagenchauffeurs voor het vervoer van onderdelen. Daarna komen de bemanningsleden van schepen, met 26% aandeel van de uren, voor transport van de onderdelen. Dit type personeel wordt weggelaten voor windenergie op land. Het overige personeel bestaat uit schoonmaakpersoneel, logistieke experts, beveiligingsmedewerkers, kraanbestuurders en regulatie-experts.

Installatiefuncties

Voor de aanleg van windmolens zijn netbeheerders verantwoordelijk. Werkzaamheden beginnen met het storten van fundaties, waarbij vaak reguliere bouwarbeiders worden betrokken. De daaropvolgende taken hebben vaker een specialistischer karakter met de installatie en montage van de windturbine. Hiervoor worden specialistischere elektromonteurs ingeschakeld (Koning & Van Dril, 2016). Deze elektromonteurs werken dan vaak samen met windturbineservicetechnici (Ligtvoet et al., 2016). Tijdens de installatie vindt er vaak toezicht plaats door bouwkundigen. Projectmanagers coördineren verder alles op logistiek en financieel gebied (Hamilton & Liming, 2010).

30% van de uren die zitten in de installatiewerkzaamheden worden opgevangen door logistiek personeel. Hiervan is ongeveer 26% afkomstig van de bemanningsleden voor schepen gedurende de installatie. Voor wind op land wordt de scheepvaart in de installatiewerkzaamheden niet meegenomen. Dit betekent dat het aandeel van het transport voor de construction crew met 7,8% zou moeten dalen. Er wordt vanuit gegaan dat deze daling van het logistieke aandeel in deze fase ten goede komt aan de installatiemedewerkers zelf. Daarbij gaat dit onderzoek ervan uit dat de andere verdelingen constant blijven op: 5% voor veiligheidscontroleurs, 1% voor ICT-experts, engineers op 7,5% en kraan- en drillspecialisten op 11,5%.

Opleidingsniveau

Voor de installatie van windenergie op land voldoet vaak mbo- en lbo geschoold personeel (Koning & Van Dril, 2016; Ottens, 2016). Sommige taken in de constructie kunnen worden uitgevoerd door laaggeschoold of ongekwalificeerd personeel in de vorm van werkervaringsplekken. Windturbineservicetechnici zijn opgeleid op mbo-niveau 4. Projectmanagers moeten over minimaal een bachelor beschikken (Hamilton & Liming, 2010). (Werktuig-) bouwkundigen zijn op minimaal hbo-niveau opgeleid.

Buitenlands aandeel

Het overgrote deel van de werknemers die worden ingezet heeft de Nederlandse nationaliteit. Vaak komt het uitvoerende personeel uit de regio, zodat gemeentes de lokale economie kunnen ondersteunen (Koning & Van Dril, 2016; Ottens, 2016).

Tabel 15 geeft de indeling weer voor windenergie op land in de fase van transport en installatie.

Tabel 15 - Indeling van wind op land voor transport en installatie

Transport & Installation phase	ICT/IT	Logistics	Engineers	Construction workers	Crane and drill specialists	HSE
Mbo-2, geen startkwalificatie	0,00%	7,35%	0,00%	30,15%	0,00%	0,00%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	0,00%	7,35%	0,00%	30,15%	11,50%	0,00%
Hbo, wo	1,00%	0,00%	7,50%	0,00%	0,00%	5,00%

Operatie & onderhoud

Werkzaamheden en functies

Onderhoud wordt met wind op land veelal uitgevoerd door bedrijven die ook de windmolens leveren. Het overgrote gedeelte van het personeel in deze fase is een windturbineservice-monteur of, bij lastige kwesties, een gespecialiseerd elektrotechnisch ingenieur (Koning & Van Dril, 2016; Hamilton & Liming, 2010). De operatie van de windmolens wordt overzien door een operatie manager.

Uit informatie uit de interviews blijkt dat *logistiek* hier een veel kleiner aandeel heeft dan bij windenergie op zee, want het beslaat maximaal 1% van de arbeidsuren in deze fase. Dit komt ten goede aan de onderhoudstechnici, die een aandeel hebben van 28%. Bovendien blijven de andere verdelingen constant, namelijk: ICT-experts hebben een aandeel van 15%, bouwkundigen en ingenieurs 15%, operatiemanagers 17%, juridisch personeel 8%, financieel en administratief personeel 10% en beveiligingspersoneel 6%.

Opleidingsniveau

Met wind op land volstaat voor onderhoudspersoneel vaak personeel dat geschoold is op lbo- en mbo-niveau (Koning & Van Dril, 2016; Ottens, 2016). Soms is hierbij hoogopgeleide elektrotechnische kennis nodig die niet beschikbaar is op regionaal gebied, maar wel op nationaal gebied. De sitemanager van een windpark moet vaak over brede kennis van windparken beschikken en veel ervaring hebben met offshore (Koning & Van Dril, 2016). Hiervoor wordt vaak de eis van een minimaal hbo-denkniveau geëist.

Buitenlands aandeel

De exploitatie van alle technologieën zelf vindt volgens de SER volledig plaats in en door Nederland (Koning & Van Dril, 2016). Daarnaast is het zo dat bij de opwekking van duurzame energiebronnen de aanvoerketen zich meer lokaal bevindt ten opzichte van fossiele energieopwekking (Fragkos & Paroussos, 2018).

Tabel 16 geeft de indeling weer voor windenergie op land in de fase van operatie en onderhoud.

Tabel 16 - Indeling van wind op land voor operatie en onderhoud

Operation & Maintenance phase	Wind turbine service technicians	ICT/IT	Operation managers	Electrical and mechanical engineers	Logistics	Legal	Financial	Site security
Mbo-2, geen startkwalificatie	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,50%	0,00%	0,00%	0,00%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	28,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,50%	0,00%	0,00%	0,00%
Hbo, wo	0,00%	15,00%	17,00%	15,00%	0,00%	8,00%	10,00%	6,00%

7.6 Waterstof

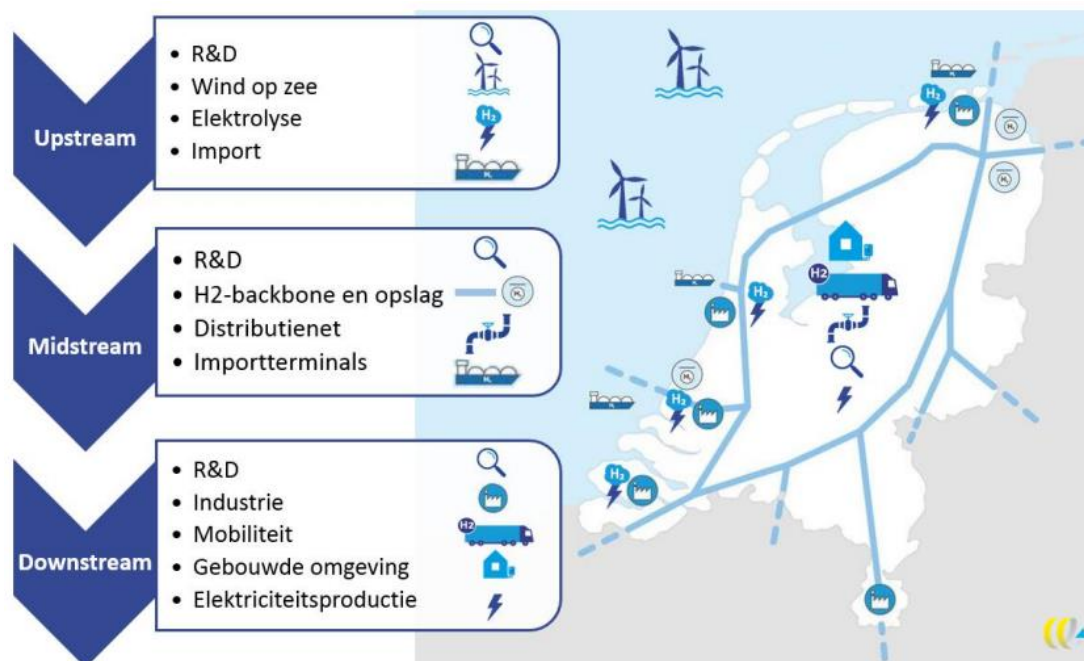
Een relatief nieuwe technologie is de omzetting van elektriciteit naar waterstof. Grijs of groene elektriciteit wordt door water geleid op een platina geleider, waardoor zuurstof en waterstof in gasvorm worden geproduceerd (CSWW, 2021). Water wordt geladen en wordt daardoor een energiedrager, wat elektrolyse heet. Deze elektriciteit kan voor groene waterstof afkomstig zijn van wind op zee (CSWW, 2021). Voor grijze energie is dit afkomstig van bronnen zoals kolen, olie en gas.

Voor waterstof is veel onderzoek nodig, omdat het nog een relatief jonge technologie is. In Figuur 8 wordt de waardeketen van waterstof weergegeven. Dit begint in de *upstream* keten met onderzoek naar bijvoorbeeld de ontwikkeling van de elektrolyser. Nadat de waterstof is geproduceerd, moet de juiste infrastructuur worden aangelegd, zoals terminals voor schepen gevuld met waterstof (CE Delft, 2021). Dit wordt vervolgens getransporteerd over vernieuwde leidingen voor verdere distributie. Hierna kan de waterstof als input dienen in de mobiliteit voor verkeer, als grondstof, voor de gebouwde omgeving of in de industrie, waarbij het gas kan substitueren.

Momenteel staat de Nederlandse waterstofproductie gelijk aan 10% van het volume van het geproduceerde aardgas (CE Delft, 2021). Grotere en vooral groene waterstofproductiecapaciteit blijft momenteel uit doordat het onrendabel is. De gehele waardeketen is in Nederland goed aanwezig, maar deze is wel relatief klein in verhouding tot het buitenland (CE Delft, 2021). Daarnaast is de gehele waardeketen onvoldoende geïntegreerd om volledig operationeel te zijn (CE Delft, 2021). Schaalvergroting tezamen met innovatie moeten de kosten drukken voor effectievere uitrol van waterstof.

Doordat het nog een jonge industrie is, is er weinig personeel te vinden met ervaring, blijkt uit de interviews. Daarbovenop is de arbeidsmarkt voor technisch geschoold personeel op verschillende opleidingsniveaus krap. Deze krapte blijft voortbestaan tot na 2030, wordt verwacht uit de interviews. In deze paragraaf beperkt waterstof zich tot de productie van elektriciteit, elektrolyse, import en het transportnetwerk tot de eindgebruikers.

Figuur 8 - Waardeketen van waterstof



Bron: (CE Delft, 2021).

Onderzoek en ontwikkeling

Werkzaamheden en functies

Voor grootschalige toepassing van vooral groene waterstof zijn nog veel innovaties nodig. Elektrolyse moet opzichzelfstaand worden verbeterd, de toepassing in de energiemarkt moet rendabel worden en efficiënte financiering moet worden ontwikkeld. Het meeste werk ontstaat bij bedrijven die waterstof ontwikkelen als een rendabele energiedrager of grondstof (CE Delft, 2021). Hiervoor zijn ingenieurs, onderzoekers en financiers nodig. Ook moet worden gekeken met beleidsadviseurs, ingenieurs en (stedelijk) bouwkundigen hoe de infrastructuur efficiënt kan worden ingepast met waterstofleidingen. Daarnaast komen er ook veel civiele, mechanische en elektrotechnische bouwkundigen bij kijken. Binnen de fase van onderzoek & ontwikkeling is de ICT-sector ook van belang voor de ontwikkeling van software en hardware (Roekel, 2019). ICT-specialisten komen ook te pas bij de ontwikkeling van warmteplannen door hun analytische vaardigheden. In deze warmteplannen moet waterstofproductie goed worden afgestemd met bijvoorbeeld zonne- en windenergieproductie.

Uit interviews blijkt dat er nog veel onzekerheid heerst voor de sector *waterstof* op het gebied van juridische aangelegenheden, zoals over de hoeveelheid elektrolyzers die geplaatst mogen worden. Daarnaast is het ook onduidelijk hoe exact de waterstofproductie en -distributie moet worden ingericht in Nederland. Hier hebben beleidsmedewerkers nog veel werk aan. Vooral in kleinere bedrijven in de waterstofsector heerst er voor beleidsadviseurs en -medewerkers krapte op de arbeidsmarkt. Verder moeten er ook nog veel veiligheidsvoorschriften en -constructies worden ontwikkeld, opschalingsmethodes voor de implementatie van waterstof in woonwijken en monteurs worden opgeleid. De veiligheids-experts nemen dan ook veel arbeidsuren in beslag. Dit zijn onder andere bouwkundigen die bouwinstallaties of veiligheidsvoorschriften controleren en opstellen. Dit heeft in de fase

van onderzoek en ontwikkeling een aandeel van 10% en daarna in elke fase van de waardeketen een aandeel van 20%. Dit wordt uitgevoerd door zogenaamde Health & Safety Executives (HSE). 10% van deze werkzaamheden worden gedaan door mbo-opgeleide mensen. De rest wordt door hbo+-personeel uitgevoerd.

Daarnaast maken de interviews duidelijk dat onderzoek een aandeel van ongeveer 40% zou moeten hebben in deze fase. Er is dan ook meer interactie nodig tussen de theorie en praktijk op het gebied van onderzoek naar waterstof, omdat het nog een jonge technologie is. Er is geschat dat in de fase van onderzoek en ontwikkeling 30% van de onderzoeken afkomstig zijn van het mbo-niveau 4. Voor grotere bedrijven ligt dit lager, doordat onderzoek een relatief langere aanlooptijd heeft dan andere werkzaamheden voor de ontwikkeling van waterstof. In de grotere branches ligt dit rond de 5%. In dit onderzoek wordt gerekend dat mbo-niveau 4 een aandeel heeft van 30% van de onderzoeken. Vervolgens moet deze stijging in onderzoek de beroepsgroep ICT/IT op ongeveer 3% zetten. Juridische werknemers zullen op een aandeel van ongeveer 7% liggen. Zakelijke dienstverlening is in deze fase is vooral gefocust op het verkrijgen van subsidies die nodig zijn om de productiekosten omlaag te brengen. Dit ligt in deze fase rond 6% van de arbeidsuren die hiervoor nodig zijn. Beleidsmedewerkers hebben een aandeel van 10%. De bouwkundigen hebben een aandeel van 24% in deze fase.

Opleidingsniveau

De onderzoekposities zitten minimaal op hbo-niveau (CE Delft, 2021). Daarnaast zijn alle ontwikkelingsberoepen op minimaal hbo-niveau en vaak zelfs op wo-niveau. Daarentegen blijkt uit interviews dat er onderzoekers worden gebruikt op mbo-niveau 4.

Tabel 17 geeft de indeling weer voor waterstof in de fase van onderzoek en ontwikkeling.

Tabel 17 - Indeling van waterstof voor onderzoek en ontwikkeling

Research & Development phase	Research	Engineers	IT/ICT	Policy officers	Financial	Legal	HSE
Mbo-2, geen startkwalificatie	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	12%	0%	0%	0%	0%	0%	1%
Hbo, wo	28%	24%	3%	10%	6%	7%	9%

Productie

Werkzaamheden en functies

Voor waterstof moet een elektrolyser worden gefabriceerd. Hiervoor worden speciale waterpompen en industriële machines gebouwd door assemblagemedewerkers, metaalbewerkers (CE Delft, 2021). Ingenieurs geven leiding in de productieprocessen. Daarnaast moeten ook speciale leidingenopslagtanks worden geproduceerd voor het transport van waterstof om industrieën te verbinden. De productie van leidingen is vergelijkbaar met de vereiste beroepen in netverzwaring. De productie voor waterstof-cv-ketels kan zonder grote aanpassingen in een fabriek worden omgezet vanuit de productie van gasketels (Reijerkerk & van Rhee, 2019). Hierbij komen voornamelijk assemblagemedewerkers kijken.

De afgenomen interviews laten zien dat de beroepsgroep *inkoop* belangrijk is. Daarnaast is dit ook relevant in de fase van transport en installatie en operatie en onderhoud. In deze fase moeten materialen en diensten worden ingekocht die als input dienen voor de

fabrieken. Dit heeft een aandeel van ongeveer 10%. ICT-specialisten zijn in deze fase relevant voor de ondersteuning en de automatisering van het productieproces. Dit aandeel zal rond de 10% liggen. Bouwkundigen in deze fase zijn voor ongeveer 40% afkomstig van het mbo-niveau 4. Hierin is de samenkomst tussen praktijkervaring en theoretische kennis wederom belangrijk. Bouwkundigen hebben in deze fase een aandeel van 20%. HSE-medewerkers hebben een aandeel van ongeveer 20%. 10% van deze werkzaamheden wordt gedaan door mbo-opgeleide mensen. De rest wordt door hbo+-personeel uitgevoerd. Resterende 40% gaat naar de assemblagemedewerkers, waar de meeste uren naartoe gaan door de grote hoeveelheid aan personeel en expertise dat hiervoor nodig is.

Opleidingsniveau

CE Delft raamt dat bijna alle beroepen op technische implementatie worden uitgevoerd op mbo-niveau (CE Delft, 2021). Leidinggevende functies kunnen vaak daarentegen weer door hbo-personeel worden uitgevoerd, zoals bouwkundigen. Ingenieurs zijn op hbo+-niveau opgeleid. Personeel dat de inkoop en distributie overziet, is deels op mbo-niveau opgeleid of op hbo-niveau.

Tabel 18 geeft de indeling weer voor waterstof in de fase van productie.

Tabel 18 - Indeling van waterstof voor productie

Manufacturing phase	Assembly workers	ICT/IT	Engineers	Procurement	HSE
Mbo-2, geen startkwalificatie	20%	0%	0%	0,00%	0,00%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	20%	0%	8%	5,00%	2,00%
Hbo, wo	0%	10%	12%	5,00%	18,00%

Transport & installatie

Transportfuncties

Materiaaltransporteurs en logistieke professionals beheren het transport van de productieonderdelen die aangeleverd moeten worden voor de installatie. Er is van uitgegaan dat de gehele productie in Nederland plaatsvindt, omdat Nederland alle fases van de waardeketen heeft. Deze zijn alleen nog niet goed geïntegreerd. Dit zou in de toekomst moeten verbeteren bij schaalvergroting van waterstof.

Installatiefuncties

In deze fase wordt de elektrolyser geïnstalleerd, evenals de benodigde leidingen, door kabelleggers en installatiemonteurs. Gascompressiestations moeten ook worden aangepast om de druk op peil te houden voor waterstofleidingen door installatiemonteurs (CE Delft, 2021). Leidingen moeten vervangen worden door een installateur, zodat er een overstap van gas naar waterstof kan worden gerealiseerd (Samenwerkingsorganisatie Beroeps- onderwijs Bedrijfsleven, 2021). De installatie van de leidingen, opslag- en compressiestation is redelijk vergelijkbaar met conventionele energiedistributiesystemen. Hierdoor kan ervan worden uitgegaan dat de beroepssamenstelling redelijkerwijs op elkaar is afgestemd voor de installatie, operatie en het onderhoud.

Voor het openbreken en aanpassen van de infrastructuur komen er grond-, weg- en waterbouwmonteurs, grondwerkers en stratenmakers bij kijken (Ligtvoet et al., 2016). Daarnaast speelt ICT een belangrijke rol bij de installatie van decentrale systemen en

sensoren en dat vereist de inzet van ICT-specialisten (UWV, 2022b; Ligtvoet et al., 2016). Dit zijn veelal geautomatiseerde systemen. In de havens moeten ook terminals worden aangelegd om de verscheepte waterstof te verwerken. Deze waterstof kan van zowel het buitenland komen als van de geproduceerde waterstof op de Noordzee met wind op zee (CSWW, 2021). Deze terminals in de haven moeten verbonden worden met de waterstofleidingen.

De gasmeter voor eindgebruikers moeten ook worden aangepast, waarbij ook de waterstof-cv-ketel aangepast moeten worden. De vereiste vaardigheden voor de installatie van een waterstof-cv-ketel lijken redelijkerwijs op vaardigheden die komen kijken bij conventionele cv-ketels.

Inkoop is zoals eerder genoemd ook van belang in de fase van transport & installatie. In deze fase moeten transportdiensten en aannemers worden ingekocht of gecontracteerd. Inkoop beslaat ongeveer 7% van de arbeidsuren in deze fase. Wederom heeft HSE een aandeel van 20% in deze fase, blijkt uit de interviews. Veiligheidsinspecties nemen relatief veel arbeidsuren in beslag in deze fase. 10% van deze werkzaamheden wordt gedaan door mbo-opgeleide mensen. De rest wordt door hbo+-personeel uitgevoerd. Verder hebben constructiemedewerkers een aandeel van 25%. ICT is in deze fase relevant voor de installatie van decentrale systemen, maar hierin zit vaak minder tijd. Uit de interviews blijkt dat ICT-specialisten maximaal 1% aandeel zullen hebben in de arbeidsuren in deze fase. De installatie- en machinemonteurs hebben een aandeel van 15% in deze fase. De loodgieters voor de installatie van de waterstofketels bij consumenten zelf hebben een aandeel van 10% in de arbeidsuren. Logistiek zou in deze fase een aandeel van maximaal 12% moeten hebben. Hiervan is ongeveer 10% van de arbeidsuren in logistiek besteed aan mensen opgeleid op hbo+-niveau. Bouwkundigen hebben hier een aandeel van 10%.

Opleidingsniveau

De leidingmonteur is vaak gekwalificeerd op mbo-niveau 4 (Samenwerkingsorganisatie Beroepsonderwijs Bedrijfsleven, 2021). In de toekomst wordt verwacht dat er ook installatiemedewerkers voor de pijpleidingen op mbo-niveau 2 komen. Verder zijn bijna alle beroepen voor de installatie van waterstoftechnologiecomponenten op mbo-niveau (CE Delft, 2021). Loodgieters en pijpleggers zijn op mbo-niveau 4 opgeleid. Constructiemedewerkers kunnen vaak beginnen op mbo-niveau 2.

Tabel 19 geeft de indeling weer voor waterstof in de fase van transport en installatie.

Tabel 19 - Indeling van waterstof voor transport en installatie

Transport & Installation phase	Logistics	Machine mechanics	Construction workers	Engineers	ICT/IT	Plumbers and pipefitters	Procurement	HSE
Mbo-2, geen startkwalificatie	5,4%	0,0%	12,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	5,4%	15,0%	12,5%	0,0%	0,0%	10,0%	3,5%	2,0%
Hbo, wo	1,2%	0,0%	0,0%	10,0%	1,0%	0,0%	3,5%	18,0%

Operatie en onderhoud

Werkzaamheden en functies

De bediening van de terminals, leidingen, zoutcavernes, elektrolyzers en compressiestations is veelal geautomatiseerd (CSWW, 2021). Echter, sommige van deze technologische componenten moeten worden bemand. Er zijn dan veel routinematige inspecties voor onderdelen en productieprocessen op het gebied van veiligheid door HSE-medewerkers (CE Delft, 2021). De operatiemanagers geven leiding in een waterstofcentrale. De ICT-specialisten moeten in deze fase de metadata uit de waterstofcentrales aflezen en analyseren om zo het systeem te verbeteren, blijkt uit de interviews. De verscheepte waterstof moet worden verwerkt en op verdere druk worden gebracht voor de leidingen.

Om het waterstofnetwerk operationeel te houden, moeten landelijke en regionale netbeheerders onderhoud plegen aan de leidingen, zoutcavernes, compressiestations en de elektrolyser. Wanneer een leiding kapotgaat, moeten er technici naartoe gestuurd worden. Dit kunnen wederom grond-, weg- en waterbouwmonteurs, machinemonteurs, leidingleggers of loodgieters zijn (Ligtvoet et al., 2016; UWV, 2022b).

De afgenomen interviews laten zien dat de beroepsgroep inkoop belangrijk is in elke fase vanaf de fase van productie. In deze fase moeten materialen en diensten worden ingekocht om de operatie draaiend te houden en voor de inkoop van reservemateriaal. Sommige bedrijven produceren zelf geen waterstof en moeten dit ook inkopen en vervolgens verder distribueren. Dit beslaat ongeveer 10% van de arbeidsuren.

Nadat diensten en producten zijn ingekocht, moeten ze worden vervoerd. Logistiek heeft dan een aandeel van 7,5% in deze fase. Bij logistiek wordt er van dezelfde opleidingsverdeling uitgegaan als in de fase van transport & installatie. HSE-werkzaamheden in deze fase komen wederom op 20% uit. ICT ligt rond de 5% in deze fase. Hiervan is 40% afkomstig van het mbo en 60% van het hbo of wo. De operatiemanagers hebben een aandeel van 9,5%. Onderhoudsmedewerkers hebben het grootste aandeel met 40%. Naast de onderhoudsmedewerkers zijn er ook onderhoudsingenieurs nodig op hbo+-niveau. Dit is gespecialiseerde arbeid en heeft een aandeel van 8%.

Opleidingsniveau

Zoals eerder aangegeven gaat CE Delft ervan uit dat bijna alle technische beroepen op mbo-niveau gevuld worden (CE Delft, 2021). Daarentegen zijn leidinggevende functies op hbo+-niveau, maar uit interviews blijkt dat een deel van de operatiemanagers van mbo-niveau 4 afkomstig is. ICT-professionals zijn bijna altijd opgeleid op minimaal hbo-niveau. Onderhoudsmonteurs zijn op mbo-niveau 4 opgeleid (Samenwerkingsorganisatie Beroepsonderwijs Bedrijfsleven, 2021). Loodgieters en pijpleggers zijn ook op mbo-niveau opgeleid. Constructie-medewerkers kunnen vaak beginnen op mbo-niveau 2.

Tabel 20 geeft de indeling weer voor waterstof in de fase van operatie en onderhoud.

Tabel 20 - Indeling van waterstof voor operatie en onderhoud

Operation & Maintenance phase	Maintenance workers	HSE	Logistics	ICT/IT	Procurement	Operation managers	Maintenance engineers
Mbo-2, geen startkwalificatie	0%	0%	3,38%	0%	0%	0,00%	0,00%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	40%	2%	3,38%	2%	5%	0,00%	0,00%
Hbo, wo	0%	18%	0,75%	3%	5%	9,50%	8,00%

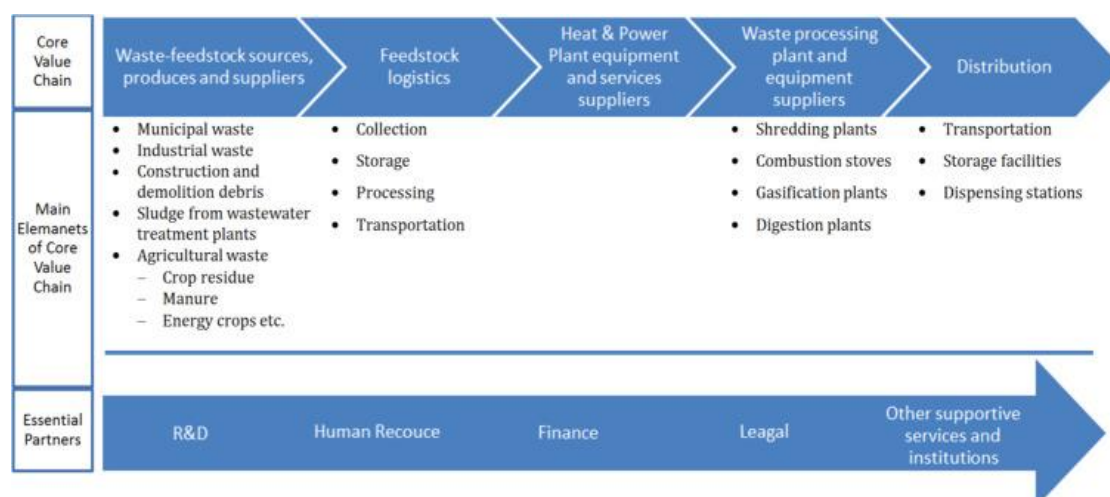


7.7 Biomassa en biogas

De waardeketen van biomassa en groengas is een specialistische keten, waarbij voornamelijk afval omgezet wordt in biogas, syngas en vloeibare biobrandstof (Sooriyaarachchi et al., 2015). Dit afval omvat slib, gemeentelijk GFT-afval en landbouw- en industriële restproducten. Hierbij kan afval versnipperd worden met stoom, verbrand of via anaerobe processen verteerd worden door bacteriën om zo energie eruit te extraheren. Vaak is de plaatsing van een biomassacentrale en het onderhoud ervan sterk gesubsidieerd door de Nederlandse Waterschappen (Koning & Van Dril, 2016). Biomassa is qua omvang een kleine industrie en daarvan vindt ongeveer de helft van de aanvoerketen plaats in Nederland (Koning & Van Dril, 2016). Daarbij is elektriciteits- en warmteopwekking via biomassa politiek controversieel, zoals eerder is beschreven. Figuur 9 geeft een overzicht weer van de waardeketen van biomassa en -gas.

Geïnterviewde partijen voor biomassa geven wel aan dat biomassa in de toekomst een groter aandeel zal krijgen in de hernieuwbare-energiemix van Nederland. Dit komt doordat de inzet van biomassa nodig is als pieklast, de gasprijs stijgt, waardoor substitutie met biomassa aantrekkelijker wordt en dat de netten overbelast raken. Wanneer de netten overbelast raken, moet er meer gekeken worden naar een decentrale ofwel een lokale manier van energieopwekking. Dit kan door middel van biomassagebruik.

Figuur 9 - Waardeketen van biomassa en groengas



Bron: (Sooriyaarachchi et al., 2015).

Onderzoek en ontwikkeling

Werkzaamheden en functies

Voor de ontwikkeling van biomassacentrales is veel kennis nodig van scheikundigen, biochemici, werktuigbouwkundigen en juristen (Koning & Van Dril, 2016; Richards, 2013). Biochemici verrichten onderzoek naar bijvoorbeeld fermentatieprocessen van natuurlijk afval, zodat dit omgezet kan worden in energie. Landbouwingenieurs bekijken bijvoorbeeld hoe het agrarisch systeem de centrale van input kan voorzien. Vervolgens wordt de ontwikkelde kennis toegepast door elektrotechnici en civiele bouwkundigen in het ontwerp van een biomassacentrale (Richards, 2013). Elektrotechnisch personeel is ook belangrijk in het ontwerp van biomassaketels voor particulieren. IT-specialisten ontwikkelen hardware-

componenten, zoals meetsensoren in de biomassacentrale, maar ook voor in de biomassacv-ketels. Voor de bouw van een centrale moet eerst een vergunningsaanvraag worden ingediend door juristen. Daarnaast wordt er financiële dienstverlening en onderzoek gedaan door financiële experts (Richards, 2013). Dit wordt vervolgens gekeurd door beleidsmedewerkers. Werkvoorbereiders gaan dan aan de slag met de technische voorbereidingen van de centrale.

Uit interviews voor biomassa blijkt dat dat communicatie in de ontwikkeling van biomassa belangrijk is om steun te creëren onder burgers, bedrijven en politici. In de interviews is verder aangegeven dat dit qua gewerkte uren vergelijkbaar is met de juridische beroepsgroep, namelijk 10%. Verder wordt uit de interviews ook duidelijk dat beleidsmedewerkers een aandeel van ongeveer maximaal 5% hebben in de totale gewerkte uren. Onderzoek daarentegen kost meer geld en daarin zitten ook meer gewerkte uren; het heeft een aandeel van 30% van de gewerkte uren in deze fase. ICT- en IT-specialisten bestrijken 5% van de gewerkte uren in deze fase. Bouwkundigen en ingenieurs waren met de CBS-data op 34% net te hoog ingeschat en zakten door de interviews nu naar een aandeel van 30%. Financiële dienstverleners hebben een resterend aandeel van 9,7%.

Opleidingsniveau

Voor de energieproductiemethode van *biomassa* is bijna voor de gehele aanvoerketen, maar met name in O&O, hbo- en wo- geschoolde personeel nodig (Koning & Van Dril, 2016). Alle bouwtechnici en onderzoekers in deze fase moeten minimaal over een bachelor beschikken (Richards, 2013). Uit interviews blijkt dat communicatieadviseurs vanaf een mbo-niveau-3-opleiding aan de slag kunnen.

Buitenlands aandeel

Het overgrote deel van het voorbereidend werk voor een biomassacentrale wordt in Nederland uitgevoerd. Onderzoek naar biomassacentrales wordt daarentegen wel meer in het buitenland uitgevoerd (Koning & Van Dril, 2016).

Tabel 21 geeft de indeling weer voor biomassa en -gas in de fase van onderzoek en ontwikkeling.

Tabel 21 - Indeling van biomassa en -gas voor onderzoek en ontwikkeling

Research & Development phase	Research	Engineers	Communication	Financial	Policy officers	Legal	ICT/IT
Mbo-2, geen startkwalificatie	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Hbo, wo	30,00%	30,00%	10,00%	10,00%	5,00%	10,00%	5,00%

Productie

Werkzaamheden en functies

Voor de biomassacentrales die werken op verbranding moeten er stalen ketels worden geproduceerd met rookgasafvoer en waterleidingen (Chen et al., 2020). (Elektrotechnische) ingenieurs vinden veel werkkansen in de berekeningen en de supervisie van de productie daarvan. Nadat de inputmaterialen zijn besteld, zetten assemblagemedewerkers de onderdelen verder in elkaar. Daarbij is het belangrijk dat er een silo wordt geproduceerd, waarin



biomassa wordt opgeslagen. Hiervoor wordt vaak metaal en staal gebruikt. Metaal- en staalbewerkers vinden hierin veel arbeidsuren.

De biomassa wordt eerst verbrand in de nabijheid van water dat stoom produceert. Dit drijft een turbine aan dat elektriciteit produceert. Bij vergisters moet er een vacuüm-gesloten vergistingstank worden geproduceerd, waarbij er anaerobe bacteriën worden toegevoegd voor de vertering (Chen et al., 2020). Deze bacteriën produceren gasen zoals methaan, dat wordt opgevangen in tanks om groengas te produceren. Dit gas kan bijvoorbeeld worden gebruikt voor verwarming.

Geproduceerde warmte of elektriciteit door biomassa kan worden omgezet in gas of vloeibaar brandstof door gasificatie of pyrolyse (Chen et al., 2020). Hiervoor zijn verschillende tanks nodig met hoogwaardige elektronische meetapparatuur. De productiewerkzaamheden die hiervoor nodig zijn vereisen veel gespecialiseerde kennis en daarom komen er ook veel ingenieurs en bouwkundigen op het gebied van mechanica en elektrotechnica bij kijken, blijkt uit de interviews. Controle en kwaliteitsinspecties vormen hierbij dan ook een belangrijke taak, waarvoor gespecialiseerde werknemers in dienst worden genomen, zogenoemde HSE-medewerkers.

De inkoop van materialen beslaat 17,5% van de arbeidsuren in deze fase, blijkt uit de interviews. Verder wordt uit de interviews duidelijk dat de assemblagemedewerkers in deze fase een gewicht van 37,5% moeten hebben. Hiervoor voeren bouwkundigen vaak gespecialiseerde handelingen uit, evenals de berekeningen voor de constructies die in de volgende fase geïnstalleerd gaan worden, wat een aandeel heeft van 20%. Voor de automatisering van de productie en de productie van hardwarecomponenten heeft ICT-personeel een aandeel van 5%. Verder gaat dit onderzoek ervan uit dat - net zoals bij waterstof - controle en kwaliteitsinspecties zich 20% van de totale arbeidsuren toe-eigenen. Dit percentage is niet geverifieerd. 10% van de HSE-werkzaamheden gebeurt op mbo-niveau 4.

Opleidingsniveau

De inkoop van materialen gebeurt vaak op mbo-niveau 3 en 4, blijkt uit de interviews. Assemblagemedewerkers kunnen vaak instromen vanaf mbo-niveau 2 voor metaal- en staalbewerking. Voor de vervaardiging van elektronische componenten zijn specialistischere vaardigheden vereist (Chen et al., 2020). Hiervoor is aangenomen dat dit tot mbo-niveau 4 wordt gedaan. (Werktuig-)bouwkundigen die supervisie en berekeningen uitvoeren voor de productieprocessen, zijn op minimaal hbo-niveau opgeleid.

Tabel 22 geeft de indeling weer voor biomassa en -gas in de fase van productie.

Tabel 22 - Indeling van biomassa en -gas voor productie

Manufacturing phase	Assembly workers	IT/ICT	Engineers	Procurement	HSE
Mbo-2, geen startkwalificatie	18,75%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	18,75%	0,00%	0,00%	8,75%	2,00%
Hbo, wo	0,00%	5,00%	20,00%	8,75%	18,00%



Transport & installatie

Logistieke functies

Deze vaardigheden worden beoefend door logistieke professionals en materiaal-transporteurs. Het afval dat wordt verzameld kan vaak ter plaatse ook als input voor biomassa worden gebruikt, omdat biomassacentrales voornamelijk lokaal geplaatst zijn voor kostenbesparingen (UWV, 2022b). Uit interviews blijkt verder dat de logistieke kant van biomassa-installaties maximaal een aandeel hebben van 25% in de totale gewerkte uren in deze fase.

Installatiefuncties

Nadat een biomassacentrale is ontworpen en goedgekeurd, worden veelal conventionele bouwlieden betrokken, zoals elektriciens, pijpleggers en timmerlieden (Koning & Van Dril, 2016). Hiervoor hoeven vaak geen gespecialiseerde bouwlieden ingezet te worden (Richards, 2013). Bouwmanagers bieden in deze fase supervisie en coördineren de taken. ICT-personeel is vaak irrelevant in deze fase, doordat installatiemonteurs vaak de computercomponenten installeren. Dit is ook geverifieerd in de interviews.

Verder wordt duidelijk uit de interviews dat bouwmedewerkers een aandeel hebben van 37,5% in deze fase. Elektriciens hebben in deze fase een aandeel van 12,5%. HSE-medewerkers hebben wederom een niet-geverifieerd aandeel van 20%. Coördinatie van bouwmanagers heeft een aandeel van 5%.

Opleidingsniveau

De bouwlieden die de biomassacentrale installeren zijn voornamelijk opgeleid op mbo-niveau (Koning & Van Dril, 2016). Bouwbedrijven kunnen ook ongekwalificeerd personeel aannemen en deze intern opleiden met lbo- of mbo-certificaten. Bouwmanagers moeten minimaal over een bachelor beschikken (Richards, 2013). Elektriciens zijn op mbo-niveau 3 of 4 opgeleid. Uit interviews verder blijkt dat HSE-medewerkers voornamelijk op hbo+-niveau zijn opgeleid, maar een klein deel hiervan is op mbo-niveau opgeleid. Dit is ongeveer 10% van de HSE-medewerkers.

Buitenlands aandeel

Onderdelen worden aangeleverd door lokale leveranciers en bijna altijd worden bouwlieden van Nederlandse nationaliteit ingezet voor de constructie van biomassacentrales (Koning & Van Dril, 2016). Daarnaast wordt de installatie zo dicht mogelijk bij de energiebron geplaatst, om zo transportkosten te reduceren.

Tabel 23 geeft de indeling weer voor biomassa en -gas in de fase van transport en installatie.

Tabel 23 - Indeling van biomassa en -gas voor transport en installatie

Transport & Installation phase	Logistics	Coordination	Construction workers	Electricians	HSE
Mbo-2, geen startkwalificatie	12,50%	0,00%	18,75%	0,00%	0,00%
Havo, , mbo-3, mbo-4	12,50%	0,00%	18,75%	12,50%	2,00%
Hbo, wo	0,00%	5,00%	0,00%	0,00%	18,00%



Operatie en onderhoud

Werkzaamheden en functies

Bij biomassacentrales wordt er in toenemende mate gerekend op zelfdiagnostische systemen die aangeven wanneer ze falen. Soms kan falen op afstand door software engineers opgelost worden. Als dit niet het geval is, moeten er gespecialiseerde technici naartoe gezonden worden (Ligtvoet et al., 2016). Zij moeten ten eerste de werking van de installatie en de interface van de software begrijpen. Productiemanagers hebben toezicht over de verdere processen van een centrale en geven supervisie aan medewerkers van een biomassacentrale. Deze medewerkers moeten met apparatuur kunnen omgaan dat de chemische, anaerobe of verbrandingsprocessen in stand houdt. Wanneer ze bij inspecties fouten tegenkomen, worden machinemonteurs ingeschakeld om het te repareren (Richards, 2013).

Bij de operatie van een biomassacentrale is het ook relevant om te kijken naar de productie van de input voor een biomassacentrale. Hiervoor worden meestal houtpellets gebruikt, vanwege opslagefficiëntie (Chen et al., 2020; Paletto et al., 2019). Deze pellets worden geproduceerd uit hout dat afkomstig is van speciaal aangewezen bossen, waarbij boeren bomen (zoals populieren) laten groeien als energiegewas (Paletto et al., 2019).

Uit interviews blijkt verder dat de inkoop en de verwerking van hout ook relevant is om als beroepsgroep mee te nemen binnen het model. Deze inkoop moet dan ook getransporteerd worden door personeel op mbo-niveau. Deze zogenaamde pellettransporteurs moeten over inspectiekwalificaties beschikken, omdat ze als transporteurs ook de pellets op kwaliteit moeten controleren. Binnen de interviews werd aangegeven dat ze geschaard kunnen worden onder het kopje 'biomassaproductanten en -levering'. Het is lastig te definiëren hoe groot het aandeel van de inkoop, het vervoer en de verwerking is, omdat dit een continu proces is. De interviews schatten in dat dit een aandeel van 42,5% heeft in de totaal gewerkte uren. Verder heeft ICT een aandeel van maximaal 5% in de onderhoudsfase. Dit is gebaseerd op bestaande onderhoudsuren. Onderhoudsmonteurs op mbo-niveau 3 en 4 hebben daarna 27,5% aandeel in de gewerkte uren in deze fase. Onderhoudsmonteurs op hbo+-niveau die gespecialiseerd onderhoud uitvoeren, hebben een aandeel van 15%. Operatiemanagers die de biomassacentraleprocessen coördineren, hebben een aandeel van 10%.

Opleidingsniveau

Productiemanagers moeten op hbo+-niveau zijn opgeleid. De medewerkers kunnen op lbo- of mbo-niveau worden opgeleid. Hierin is het belangrijk dat ze technisch kunnen nadenken en handelen. De monteurs zijn op mbo- of hbo-niveau opgeleid (Richards, 2013). Boeren kunnen op elk opleidingsniveau hun beroep uitvoeren, want het werk wordt vaak als nalatenschap doorgegeven.

Buitenlands aandeel

De exploitatie van alle technologieën zelf vindt volgens de SER volledig plaats in en door Nederland. Daarnaast is het zo dat bij de opwekking van duurzame energie via biomassa de aanvoerketen zich meer lokaal bevindt ten opzichte van fossiele-energieopwekking (Fragkos & Paroussos, 2018).

Tabel 24 geeft de indeling weer voor biomassa en -gas in de fase van operatie en onderhoud.

Tabel 24 - Indeling van biomassa en -gas voor operatie en onderhoud

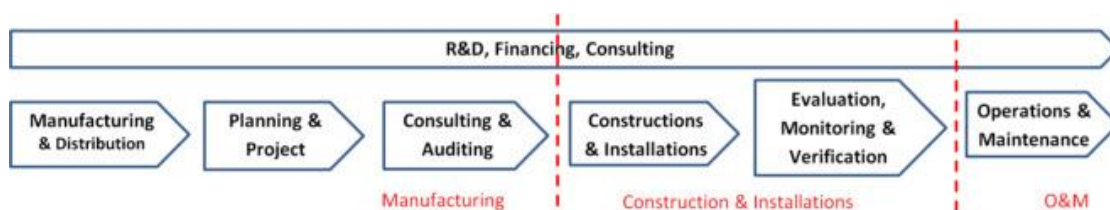
Operation & Maintenance phase	ICT/IT	Biomass production and procurement	Maintenance workers	Maintenance engineers	Operation manager
Mbo-2, geen startkwalificatie	0,00%	14,16%	13,75%	0,00%	0,00%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	0,00%	14,17%	13,75%	0,00%	0,00%
Hbo, wo	5,00%	14,17%	0,00%	15,00%	10,00%

7.8 Energiebesparingsmethoden

Maatregelen die moeten leiden tot meer energiebesparing zijn veelomvattend. Particulieren die besluiten hun woning te verduurzamen, zorgen voor een stijging van de vraag naar arbeid. Voor zakelijk vastgoed, ofwel grootverbruikers, zal dit relatief minder opleveren (Ottens, 2016). Technologieën die gefocust zijn op energiebesparing, hebben te maken met een groeiende vraag, doordat het voor potentieel efficiëntere productie kan zorgen. Energiebesparingspakketten in de gebouwde omgeving kunnen worden geïmplementeerd door betere isolatie, (collectieve) lagetemperatuurverwarming en all electric-installaties (Veelal warmtepomp). Deze paragraaf behandelt all electric en collectieve lagetemperatuurverwarming. Vaak worden energiebesparingsmethoden uitgevoerd tezamen met verbeteringen van de isolatie van gebouwen. De waardeketen voor energiebesparing wordt weergegeven in Figuur 10. De werkzaamheden in deze keten worden voornamelijk uitgevoerd door de bouw- en installatiesector. Deze waardeketen wordt ook gekenmerkt door het feit dat veel onderdelen geprefabriceerd zijn op regionaal gebied (Koning & Van Dril, 2016). Hierdoor ligt er meer nadruk op stel- en montagevaardigheden in de energiebesparingswaardeketen in vergelijking met de conventionele bouw. Daarnaast hebben veel projecten een wijkgerichte benadering en zijn daarom lokaal geankerd (Ottens, 2016). Er wordt daarom geschat dat ongeveer 90% van de werknemers in de keten van energiebesparings-technologieën Nederlands is. Vaak worden regionale economieën gesteund door provincies en gemeentes bij de implementatie van energiebesparingstechnieken. Daarnaast worden de meeste werkzaamheden verricht in koop- of huurwoningen waarbij het spreken van Nederlands belangrijk is.

Voor deze energietechniek zijn geen interviews uitgevoerd. Deze data zijn alleen gebaseerd op de literatuur en de CBS-data.

Figuur 10 - Waardeketen van energiebesparingsmethoden



Bron: (Sooriyaarachchi et al., 2015).

Onderzoek en ontwikkeling

Werkzaamheden en functies

De technieken om gebouwen energiezuiniger te maken zijn alreeds ontwikkeld. Vaak moet er op maat worden gekeken hoe een technologie het best toegepast kan worden in ontwikkelingsstrategieën (Ligtvoet et al., 2016). Hierbij moeten verschillende energiebesparings-technieken en energiegebruikers goed op elkaar afgestemd zijn, waarin de ontwerp-uitdagingen zich bevinden. Bij de implementatie van energiebesparingsmethoden moet er door een energieprestatieadviseur controles worden uitgevoerd, waarbij de potentiële verbeteringspunten worden onderzocht. In dit soort controles wordt er vaak gekeken naar thermische en elektrische efficiëntie. Het gebouw moet op een adequate manier temperatuur kunnen behouden en op een energiezuinige manier. Hiervoor wordt specialistische kennis toegepast dat reeds is ontwikkeld (Sooriyaarachchi et al., 2015).

Met de advisering en uitvoering van maatregelen is de digitalisering met behulp van dataportals sterk toegenomen. In deze fase gaat het ook vaak om ontwerp en zijn er uitvoerders, projectleiders, ontwerpers, energieprestatieadviseurs, consultants en communicatieadviseurs nodig (UWV, 2022b). Het stimuleren van draagvlak onder de bevolking ten behoeve van energiebesparing is essentieel voor het succes van de implementatie. Communicatieadviseurs hebben daarom een belangrijke rol bij het creëren van bewustwording en advisering. Daarnaast is met de huidige subsidieregeling vaak een rol voor een financieel adviseur weggelegd voor particulieren. Hiervoor is kennis nodig van de energietransitie. Projectleiders moeten ervoor zorgen dat energiebesparingsprojecten in goede banen worden geleid. Vaardigheden die hierin belangrijk zijn hebben te maken met: 3D-modelleren, nul-op-de-meter-ontwerpen, berekening van energieprestaties, energie-audit, circulair ontwerpen, warmte- en energiesystemen, domotica, subsidies en gebouw-beheersystemen (UWV, 2022b).

Opleidingsniveau

Dit werk wordt op minimaal mbo-niveau 4 uitgevoerd. Een energieprestatieadviseur is vaak opgeleid op mbo-niveau (Ottens, 2016). Ottens (2016) geeft daarentegen wel aan dat de ontwikkeling veelal door hoogopgeleid personeel wordt gedaan (hbo). Taken voor hbo-personeel in deze fase zijn dan bijvoorbeeld het ontwerpen en ontwikkelen van een bouwarrangement in overeenkomst met de bewoners (Straatmeijer & Koning, 2015). De projectontwikkeling en de voorbereiding wordt gedaan door hbo+-geschoold personeel.

Tabel 25 geeft de indeling weer voor energiebesparingstechnieken in de fase van onderzoek en ontwikkeling.

Tabel 25 - Indeling van energiebesparingstechnieken voor onderzoek en ontwikkeling

Research & Development phase	Project planning	Research	Consultancy	Financial	IT/ICT	Engineers
Mbo-2, geen startkwalificatie	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	0,00%	0,00%	9,12%	0,00%	0,00%	0,00%
Hbo, wo	6,02%	3,96%	9,12%	11,76%	32,67%	27,34%

Productie

Werkzaamheden en functies

Nadat een onderzoek is uitgevoerd, ontstaat er veel werkgelegenheidspotentie in de (her)constructie van gebouwen. Zoals benoemd in Hoofdstuk 2 is de werkgelegenheid die hiervoor ontstaat veelal lokaal. Voor energiebesparingstechnologie ligt er steeds meer nadruk op geprefabriceerde onderdelen, dat voor kostenbesparingen in de gehele aanvoerketen heeft gezorgd. Om dit goed te coördineren is de aanvoerketen vaak meer geïntegreerd ten opzichte van conventionele bouw (Straatmeijer & Koning, 2015; Koning & Van Dril, 2016). Fabrieken krijgen van bouwontwerpers op maat gemaakte 3D-modellen. Als gevolg hiervan krijgt ICT steeds meer nadruk in de fases van productie, transport & installatie en O&M. Daarnaast komt er meer nadruk te liggen op elektronische installatietechniekkennis tijdens de productie. Hoogopgeleide technici op het gebied van elektriciteit, gas en water verschuiven hierdoor van de bouwplaats naar de fabriekshal (Ligtvoet et al., 2016). In de fabrieken werken voornamelijk assemblagemedewerkers. Vaardigheden die hier naar voren komen zijn technische tekeningen kunnen aflezen en onderdelenassemblage (UWV, 2022b). In beperkte gevallen worden producten uit het buitenland geïmporteerd, zoals uit China, Frankrijk of Slovenië (Koning & Van Dril, 2016).

Opleidingsniveau

Het meeste werk wordt verricht door assemblagemedewerkers die geschoold zijn op mbo-niveau. Daarnaast komt er nog leidinggevend, ondersteunend en controlerend personeel dat ongeveer 15% deel uitmaakt van de totale hoeveelheid arbeid in deze fase (Koning & Van Dril, 2016). Hoogopgeleide technici (hbo+) die hun origine hebben in de installatiesector, verschuiven nu naar de fabriekshal.

Tabel 26 geeft de indeling weer voor energiebesparingstechnieken in de fase van productie.

Tabel 26 - Indeling van energiebesparingstechnieken voor productie

Manufacturing phase	IT/ICT	Engineers	Assembly workers
Mbo-2, geen startkwalificatie	0,00%	0,00%	11,31%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	0,00%	0,00%	11,31%
Hbo, wo	21,63%	55,74%	0,00%

Transport & installatie

Transportfuncties

De aangeleverde productie wordt verzonden via distributienetwerken die met toenemende mate te maken hebben met digitalisering. Ze worden door computers en logistieke professionals zo efficiënt mogelijk gecoördineerd (Koning & Van Dril, 2016). Het transport van bouwmaterialen kan worden uitgevoerd door ongekwalificeerd personeel of hoger. Het transport wordt voornamelijk met vrachtwagens gedaan (Koning & Van Dril, 2016).

Installatiefuncties

Het UWV (2018) geeft aan dat het takenpalet van een installateur door de energietransitie complexer is geworden. Hierbij moet een installatiemonteur vaak een meer probleemoplossend vermogen hebben om huizen energiezuiniger te maken en voor het implementeren van nieuwe technologieën in het gebouw. De dienstverlening van een installateur wordt daarom belangrijker en daarbij ook de soft skills, zoals communicatie.

De samenstelling van personeel tijdens de aanleg van energiebesparingstechnologieën bestaat niet meer uit één iemand, maar uit teams van ongeveer vijf vakmensen met ieder zijn eigen specialisme, dat daardoor breder inzetbaar is (Ligtvoet et al., 2016). Personeel moet hierdoor vaak wel kennis hebben van andere specialisaties en daarom geven Straatmeijer & Koning (2015) en het UWV (2022b) aan dat bouwmedewerkers breder opgeleid moeten worden tot allround bouwmedewerkers of -monteurs. In dit geval zijn het geen specifieke timmermannen, plafondmonteurs of een dakdekkers, maar specialisten die breder inzetbaar zijn. Het gevolg hiervan is dat de soft skills van goede communicatie en werken in team verband steeds belangrijker zijn geworden. Belangrijke beroepen in deze fase zijn isolatiemonteurs, timmerlieden, loodgieters, elektromonteurs, operators, installatiemonteurs (warmte) en leidingleggers (Koning & Van Dril, 2016; UWV, 2022b). Vaardigheden in deze fase zijn: kunnen omgaan met domotica, spanningsregulatie, technische tekeningen aflezen, werking van warmtenetten, digitale geletterdheid, bodemenergiesystemen en energieprestatie van gebouwen meten (UWV, 2022b).

Opleidingsniveau

Dit wordt vaak bereikt door bouwlieden cursussen aan te bieden. De aanleg wordt voor- namelijk uitgevoerd door mbo-personeel en een kleiner deel lbo-geschoold personeel dat gecoordineerd wordt door hbo-personeel (Koning & Van Dril, 2016; Ottens, 2016). Constructiemedewerkers, zoals metaalbewerkers, kunnen vanaf mbo-niveau 2 aan de slag. Straatmeijer & Koning (2015) geven aan dat door de vereiste communicatievaardigheden en de specialisaties die bij de implementatie van energiebesparing komen kijken, laag-geschoold personeel ongeschikt is. Hierdoor liggen alle montagewerkzaamheden bij het mbo-personeel. Eenmaal aangenomen, moet personeel door middel van cursussen en trainingen nog extra opgeleid worden om aan de slag te kunnen gaan met de nieuwste innovaties (Ottens, 2016).

Tabel 27 geeft de indeling weer voor energiebesparingstechnieken in de fase van transport en installatie.

Tabel 27 - Indeling van energiebesparingstechnieken voor transport en installatie

Transport & Installation phase	Logistics	Coordination	Construction workers	ICT/IT	Electricians	Engineers
Mbo-2, geen startkwalificatie	14,55%	0,00%	13,52%	0,00%	0,00%	0,00%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	14,55%	0,00%	13,52%	0,00%	8,95%	0,00%
Hbo, wo	0,00%	6,28%	0,00%	4,41%	0,00%	24,22%



Operatie en onderhoud

Werkzaamheden en functie

Wanneer de technologie is geïmplementeerd, is het voor onderhoud belangrijk dat het personeel ervaren is met innovatieve smartmeters, kan omgaan met consumenten en daarnaast ook verstand heeft van elektrotechnische en werktuigbouwkundige kwesties (UWV, 2018). Dit gebeurt meestal door inspecteurs en elektriciens die gecertificeerd zijn als onderhoudsspecialisten. Daarnaast komen ook loodgieters vaak te pas in het onderhoud van energiebesparingstechnologieën.

Opleidingsniveau

Voor het onderhoud van energiebesparingstechnologieën is vaak een gespecialiseerd servicemonteur nodig op mbo-niveau, met diagnostische vaardigheden (UWV, 2022b). De loodgieters die onderhoud plegen, zijn ook op mbo-niveau 4 opgeleid.

Tabel 28 geeft de indeling weer voor energiebesparingstechnieken in de fase van operatie en onderhoud.

Tabel 28 - Indeling van energiebesparingstechnieken voor operatie en onderhoud

Operation & Maintenance phase	ICT/IT	Electricians	Plumbers and pipefitters
Mbo-2, geen startkwalificatie	0,00%	0,00%	0,00%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	0,00%	41,12%	15,72%
Hbo, wo	43,16%	0,00%	0,00%

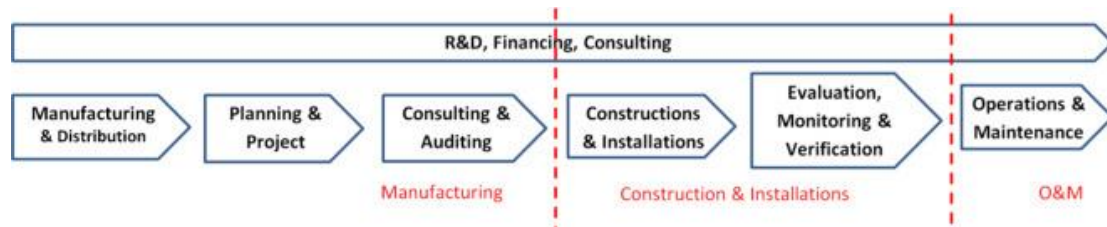
7.9 Netverzwaring

Door technologische innovaties verandert het energiesysteem van een top-downsysteem naar een horizontaal systeem (Ligtvoet et al., 2016). Vanouds leverden energiecentrales in het top-downsysteem via kabels elektriciteit aan gebouwen. In het horizontale systeem leveren naast energiecentrales ook particulieren (zonnepanelen) en andere industrieën elektriciteit aan het net. Uit industrieën wordt restwarmte geëxtraheerd en worden koel- en verwarmingsinstallaties geplaatst. Industrieën worden daarbij vaak gebundeld in de energietoelevering door middel van smart grids. Als gevolg hiervan vernieuwen bedrijven hun bedrijfsprocessen en businesscases. Juristen en planologen moeten hiervoor veel opnieuw reorganiseren op infrastructureel gebied (Ligtvoet et al., 2016; UWV, 2022b).

Het energieaanbod uit duurzame energiebronnen met een variabelere energieopbrengst neemt toe. Daarnaast neemt ook de elektriciteitsvraag toe door, zoals eerder genoemd, de intensivering van elektrisch rijden. Als gevolg hiervan wordt de energievraag dynamischer gestuurd door energie bewegelijker te prijzen. Deze innovaties in energieopwekking zijn mede mogelijk gemaakt door kostendalingen in zonne-energie, verbeterde opslagmogelijkheden en verbeterde ICT-systemen. Aangegeven wordt dat het huidige elektriciteitsnet de toekomstige spanningsvraag en -aanbod niet goed aankan (Ligtvoet et al., 2016; UWV, 2022b). Hierdoor loopt de duurzaamheid van de elektriciteit gevaar en vraagt het daarom om capaciteitsopshaling. Er worden nieuwe spanningskabels aangelegd, zowel boven- als ondergronds, tussen elektriciteitscentrales, industrieën en particulieren. Hiervoor moet vaak de huidige infrastructuur op de schop en worden opengebrouwen. Figuur 11 weergeeft een overzicht van de waardeketen voor netverzwaring.

Voor deze energietechniek zijn geen interviews uitgevoerd. Deze data zijn alleen gebaseerd op de literatuur en de CBS-data.

Figuur 11 - Waardeketen van netverzwinging



Bron: (Sooriyaarachchi et al., 2015).

Onderzoek en ontwikkeling

Werkzaamheden en functie

Voor de ontwikkeling van een verhoogde netcapaciteit is veel systeemkennis nodig, vanaf de individu op lokaal niveau tot aan het nationaal niveau (Ligtvoet et al., 2016). Zelfs op internationaal gebied is veel gespecialiseerde kennis nodig om ook elektriciteit te importeren en exporteren. Dit internationale aspect valt momenteel buiten de beschouwing van dit onderzoek.

Door de integratie van verschillende elektriciteitssystemen is er kennis nodig, waarvoor het verloop van de samenhang vaak nog ontwikkeld moet worden. Om dit goed in kaart te brengen, moeten BIM-modellereurs het energiesysteem in kaart brengen en kijken hoe uitbreidingen gerealiseerd kunnen worden. Dit wordt vaak met software engineers geoptimaliseerd aan de hand van algoritmes. Er moet daarnaast nog onderzoek worden gedaan hoe netwerken slimmer kunnen worden ingericht, zodat elektriciteitsaanbod beter op behoefte is afgesteld. Energiemarkten onderzoeken daarom naar manieren om duurzame energie efficiënt op te slaan. Systeemarchitecten moeten hierin samenwerken met (elektro-)installateurs. Gedurende het ontwerp van energiedistributienetwerken moeten wijken vaak op de schop om zo een verhoogde energietoeleveringscapaciteit te realiseren. In deze fase zijn belangrijke beroepen: technisch uitvoerder, softwareontwikkelaars, projectleiders, tekenaars/BIM-modellereurs, calculators, beleidsmedewerkers, en communicatieadviseurs (UWV, 2022b). Daarnaast moeten planologen vaak vergunningsverleners assisteren in de ontwerpwerkzaamheden. De vaardigheden zijn voornamelijk gericht op bouwkunde, gebouwbesturing, industriële procestechneek en gebiedsontwikkeling (Ligtvoet et al., 2016).

Opleidingsniveau

Al dit werk wordt op minimaal hbo-niveau uitgevoerd (UWV, 2022b).

Tabel 29 geeft de indeling weer voor netverzwinging in de fase van onderzoek en ontwikkeling.

Tabel 29 - Indeling van netverzwaring voor onderzoek en ontwikkeling

Research & Development phase	Research	Engineers	Legal	Project planning	IT/ICT	Policy officers	Financial
Mbo-2, geen startkwalificatie	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Hbo, wo	3,95%	27,27%	7,82%	6,01%	32,58%	10,65%	11,73%

Productie

Werkzaamheden en functie

De kabels die gebruikt worden voor netverzwaring zijn koperen en aluminium laag-, midden- en hoogspanningsgeleiders, die vaak (maar niet altijd) worden ingegraven (Zandberg & Kraaijenbrink, 2021). Daarbij wordt er thermisch verzinkt staal gebruikt als behuizing en extra isolatie aangebracht voor thermische efficiëntie. Belangrijk hierbij is ook de productie van elektronische componenten die bijvoorbeeld spanningen kunnen meten en kunnen communiceren met de database (Zandberg & Kraaijenbrink, 2021). Hierdoor kan op afstand vaak gekeken worden wat de status is van een kabel. Beroepen die relevant zijn voor de productiefase van netverzwaring, zijn gelieerd aan metaal- en staalproductie en elektronische componenten. Hiervoor zijn metaal- en staalarbeiders, assemblagemedewerkers, elektrotechnische ingenieurs en mensen die de productie coördineren nodig.

Opleidingsniveau

Elektrotechnische ingenieurs zijn op minimaal hbo-niveau opgeleid. Metaal- en staalarbeiders en assemblagemedewerkers zijn vaak opgeleid op minimaal mbo-niveau 2. Assemblagemedewerkers kunnen vaak instromen vanaf mbo-niveau 2. Coördinatiepersoneel dat producten en het productieproces controleert, is opgeleid op hbo-niveau.

Tabel 30 geeft de indeling weer voor netverzwaring in de fase van productie.

Tabel 30 - Indeling van netverzwaring voor productie

Manufacturing phase	Assembly workers	Metal and steel producers	Electrical engineers	Coordination
Mbo-2, geen startkwalificatie	23,09%	0,00%	0,00%	0,00%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	23,09%	16,65%	0,00%	0,00%
Hbo, wo	0,00%	0,00%	7,65%	29,52%

Transport & installatie

Transportfuncties

Het vervoer van de kabels is een logistieke opgave, vanwege het gewicht en de lengte van de kabels. Dit wordt per schip (zowel binnenvaart als maritiem), trein of vrachtwagen vervoerd. De kabels worden voornamelijk in Nederland zelf geproduceerd door de Nederlandse Kabelfabriek, Draka (later Prysmian Group), Nexans en de Twentsche Kabelfabriek.

Installatiefuncties

Netwerken moeten in deze fase worden uitgebreid, verzaagd of nieuw worden aangelegd. Allereerst moet de huidige infrastructuur worden opgebroken. Bij het openbreken en aanpassen van de infrastructuur komen grond-, weg- en waterbouwmonteurs, grondwerkers en stratenmakers kijken (Ligtvoet et al., 2016). Hierbij worden sleuven en putten gevraagd. Daarnaast worden zij geassisteerd door leidingleggers en elektriciteitsnetmonteurs, voor de aanleg van de netwerken (UWV, 2022b). Hierbij worden hoog-, midden- en laagspannings-verbindingen gekoppeld door spanningsmonteurs of elektromonteurs via schakelstations (UWV, 2022b). Wanneer een stuk is opgebroken met een graafmachine en een netwerk is aangelegd, wordt het gedicht en eventueel herstraat. UWV (2022b) geeft aan dat werknemers vaardigheden moeten hebben die te maken hebben met: aanleg van distributienetwerken, verbindingstechnieken, warmtenetwerksystemen, leidingen kathodisch beschermen, veiligheidsvoorschriften en kabelmontage. Daarnaast speelt ICT een belangrijke rol bij de installatie van systemen en sensoren en dat vereist de inzet van ICT-specialisten (UWV, 2022b; Ligtvoet et al., 2016).

Opleidingsniveau

De spanningsmonteurs zijn volgens UWV (2022b) opgeleid op mbo-niveau 3. Elektromonteurs zijn hoger opgeleid. Grond-, weg- en waterbouwmonteurs zijn op mbo-niveau 2 en 3 opgeleid. Loodgieters en pijp- en leidingleggers zijn op mbo-niveau 3 en 4 opgeleid. Constructiemedewerkers, zoals metaalbewerkers, kunnen vanaf mbo-niveau 2 aan de slag. Bouwkundigen zijn op minimaal hbo-niveau opgeleid.

Tabel 31 geeft de indeling weer voor netverzwaring in de fase van transport en installatie.

Tabel 31 - Indeling van netverzwaring voor transport en installatie

Transport & Installation phase	Logistics	Electricians	Construction workers	Engineers	ICT/IT	Plumbers and pipefitters
Mbo-2, geen startkwalificatie	19,07%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	19,07%	11,74%	8,09%	0,00%	0,00%	4,49%
Hbo, wo	0,00%	0,00%	0,00%	31,75%	5,79%	0,00%

Operatie en onderhoud

Werkzaamheden en functie

Realtime monitoring is belangrijk om de energievraag en het energieaanbod goed op elkaar af te laten stemmen op het net. Hiervoor zijn reeds slimme sensoren geïmplementeerd in het netwerk zelf, op energieproductielocaties zoals windmolens en bij de ontvangers. De rol van ICT is hierin groot om zo onderhoud op afstand mogelijk te maken, aangezien de bekabeling vaak ondergronds is weggestopt. Dit impliceert dat datamanagement een steeds aanzienlijkere rol krijgt binnen het onderhouden van energienetwerken. De sensoren geven vaak vanzelf aan wanneer een systeem binnen het net faalt. Big-datatechnici hebben een grote rol in het onderhoud van het systeem. Wanneer een systeem faalt, moeten er technici naartoe gestuurd worden. Dit kunnen wederom grond-, weg- en waterbouwmonteurs zijn, leidingleggers of elektriciteitsnetmonteurs (Ligtvoet et al., 2016; UWV, 2022b). Vaak moet er eerst gegraven worden, waarna onderdelen worden vervangen door (elektro)monteurs (UWV, 2022b).

Opleidingsniveau

De spanningsmonteurs zijn volgens UWV (2022b) opgeleid op mbo-niveau 3. Elektromonteurs zijn hoger opgeleid. Grond-, weg- en waterbouwmonteurs zijn op mbo-niveau 2 en 3 opgeleid. ICT-specialisten en big-dataoperators zijn hoger opgeleid. Loodgieters en pijp- en leidingleggers zijn op mbo-niveau 3 en 4 opgeleid. Constructiemedewerkers, zoals metaalbewerkers, kunnen vanaf mbo-niveau 2 aan de slag.

Tabel 32 geeft de indeling weer voor netverzwaring in de fase van operatie en onderhoud.

Tabel 32 - Indeling van netverzwaring voor operatie en onderhoud

Operation & Maintenance phase	Electricians	Construction workers	Electrical engineers	ICT/IT	Plumbers and pipefitters
Mbo-2, geen startkwalificatie	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Havo, vwo, mbo-3, mbo-4	30,28%	20,86%	0,00%	0,00%	11,58%
Hbo, wo	0,00%	0,00%	5,50%	31,78%	0,00%

8 Casestudy: Waterstof

8.1 Inleiding

Met de vernieuwde inzichten van de literatuurstudie en de interviews in Hoofdstuk 7 is het model uitgebreid, zodat er een splitsing van arbeidsvraag per fase voor een energietechniek kan worden gemaakt. Deze gegevens worden in Hoofdstuk 8 gebruikt om een casestudy voor waterstof uit te werken. Dit hoofdstuk laat zien wat de resultaten zijn en hoe ze geïnterpreteerd moeten worden, wanneer gebruik wordt gemaakt van het nieuwe arbeidsvraagmodel.

8.2 Groenvermogen II

Het Nationale Groeifonds is opgesteld door het kabinet om tussen 2021 en 2025 projecten te subsidiëren die voor de lange termijn voor economische groei zorgen. De projecten moeten voor kennisontwikkeling, onderzoek en innovatie zorgen op een duurzame manier. Hier is in totaal € 20 miljard voor vrijgemaakt. Dit fonds wordt beheerd door het ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het ministerie van Financiën.

Een voorstel dat is goedgekeurd voor subsidiëring in het Nationaal Groeifonds is het waterstofprogramma Groenvermogen II van GroenvermogenNL (Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, 2022). Het kabinet ziet groene waterstof als een cruciaal middel om de klimaatdoelen te realiseren, want groene waterstof kan voornamelijk een duurzame bijdrage leveren aan de industrie en de luchtvaart. Nederland wil hiermee een van de koplopers binnen Europa blijven op het gebied van waterstofproductie.

In dit project wordt innovatie verricht voor groene waterstof en de achterliggende chemie door het opschalen van duurzame waterstofproductie met nieuwe technieken en het opleiden van mensen die cruciaal zijn voor de waardeketen van waterstof. Waterstofpilots en onderwijsprogramma's worden opgezet in Nederland. Bedrijven moeten meer gaan samenwerken met het onderwijs om zo innovatie te stimuleren. Uiteindelijk kunnen tenders zich inschrijven voor elektrolysefaciliteiten van minimaal 100 MW, die gerealiseerd worden in 2026.

Deze faciliteiten moeten inzichten bieden hoe de productie kan worden opgeschaald naar 1 GW. Voor deze opschaling is het belangrijk om inzicht te verkrijgen hoe variabele groene elektriciteitsopbrengsten ten goede kunnen worden gebracht voor waterstofproductie.

Het Nationaal Groeifonds investeert € 500 miljoen in dit programma. Dit bedrag wordt door externe partijen aangevuld tot € 1,25 miljard. Deelnemende partijen in dit programma zijn: Nobian, HyCC, Shell, Air Liquide, DOW, VDL, OCI Nitrogen, BP, Yara, Orsted, Siemens, Avantium, Hygear, Hyet, TataSteel, Vattenfall, Zeeland Refinery, MTSA, Bosch, SkyNRG, FME, BASF, Port of Rotterdam, Port of Amsterdam, Smart Delta Resources, Chemelot, Brainport, TNO, VoltaChem, AMCEL, EIRES, e-Refinery, ARC CBBC, CEI, topsectoren Energie, Holland High Tech en ChemistryNL.

Met een investering van € 1,25 miljard ontstaat er werkgelegenheid, namelijk afgerond op honderdtallen tussen de 4.000 en de 5.700 fte. Tabel 33 geeft de relatieve en absolute hoeveelheid permanente en tijdelijke fte weer en per fase het relatieve en absolute aandeel van de arbeidsuren die met deze investering gemoeid zijn. Onder- en bovengrenzen worden gegeven doordat deze werkgelegenheid ontstaat tussen 2022 en 2030, waarbij er

verschillende aannames worden gedaan over de arbeidsproductiviteit. De ondergrens weergeeft een scenario met relatief hogere arbeidsproductiviteit vergeleken met de bovengrens.

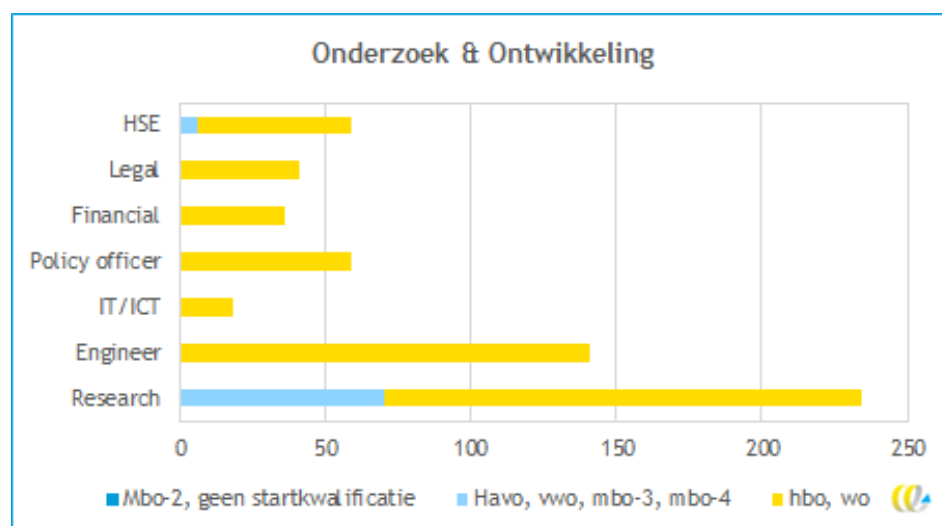
Tabel 33 - Arbeidsverdelingen van een investering van € 1,25 miljard

	Ondergrens		Bovengrens	
Tijdelijke fte	35%	1.400	67%	1.900
Permanente fte	65%	2.600	33%	3.400
Onderzoek & Ontwikkeling	14%	500	11%	600
Productie	7%	300	7%	400
Transport & Installatie	14%	600	14%	800
Operatie & Onderhoud	65%	2.600	67%	3.800

De paragrafen hierna splitsen de fte-verdelingen verder uit per fase, beroepsgroep en opleidingsniveau. Hierin zijn wederom gemiddelden genomen van de bandbreedtes per beroepsgroep en opleidingsniveau.

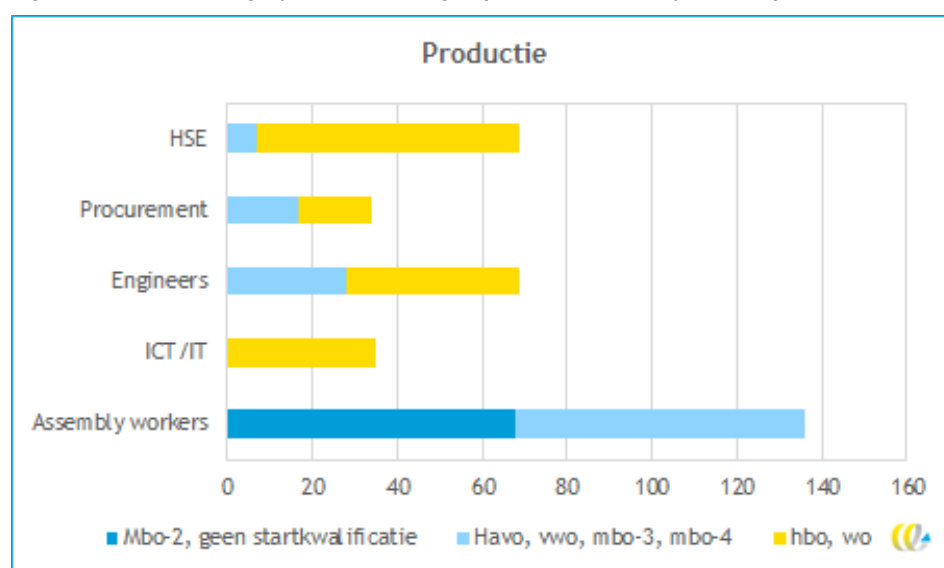
Ten gevolge van de investeringsimpuls ontstaat er in de fase van onderzoek en ontwikkeling het meeste werk voor onderzoekers en engineers op hbo- en wo-niveau. Dit is te zien in Figuur 12. Dit soort personeel zal zich voornamelijk op de technische innovatie focussen, zoals de ontwikkeling van de elektrolyse en de opschaling van de waterstofproductie. Daarnaast worden er in deze fase juristen en beleidsmedewerkers ingezet voor de vergunningsverstrekking. Deze twee beroepsgroepen trekken daarna de meeste ontstane fte tot zich toe. Uit de interviews is gebleken dat de veiligheidsrapportages en -voorschriften die ontwikkeld worden, zeer belangrijk zijn. Financieel specialisten hebben een relatief lagere arbeidsvraag. Dit type personeel zal dus de financiering en subsidiering controleren dat nodig is voor de onderdrukking van de hoge risico's met waterstofprojecten.

Figuur 12 - Arbeidsvraag bij een investeringsimpuls van € 1,25 miljard voor onderzoek en ontwikkeling



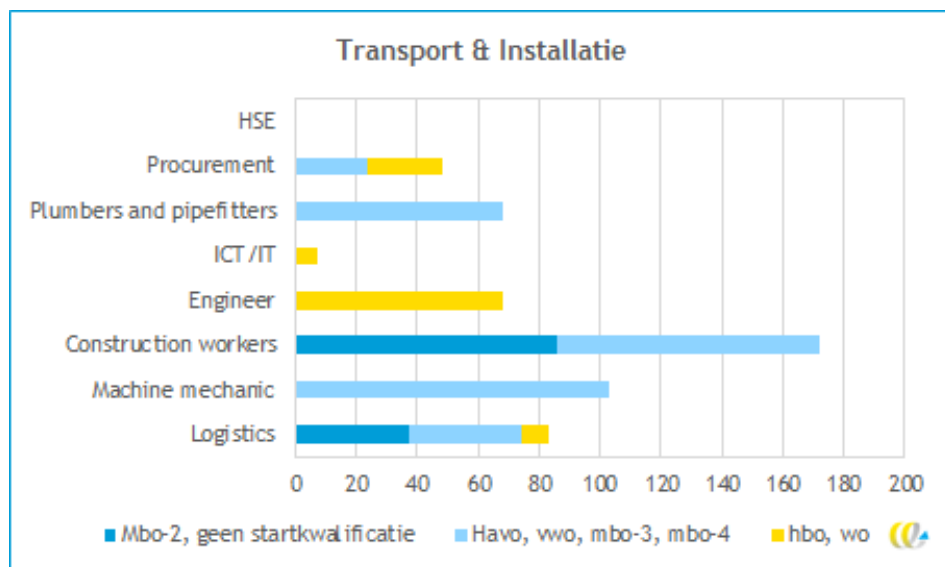
Voor de fase van productie krijgen opgeteld over beiden opleidingsniveaus de assemblage-medewerkers het meeste werk. Dit is te zien in Figuur 13. Het personeel dat de inkoop overziet, koopt vaak met bulk in, waardoor hier een relatief lagere arbeidsvraag ontstaat. Wederom zijn veiligheidsinspecties belangrijk in deze fase, die als doel hebben te voorkomen dat er foutieve producten worden afgeleverd. Daarnaast is er ook supervisie nodig op het productieproces om veiligheid te waarborgen. Om die reden ontstaat er voor HSE-medewerkers veel werkgelegenheid in deze fase. Veiligheidsinspecties blijven voor waterstof door de gehele waardeketen een belangrijke activiteit. Engineers voeren daarnaast de technisch gespecialiseerde productiehandelingen en berekeningen uit. De productie loopt langer door dan tot 2026, omdat tegen die tijd pas de tenderverzoeken zijn ingediend. Hierdoor blijft er een continue vraag ontstaan.

Figuur 13 - Arbeidsvraag bij een investeringsimpuls van € 1,25 miljard voor productie



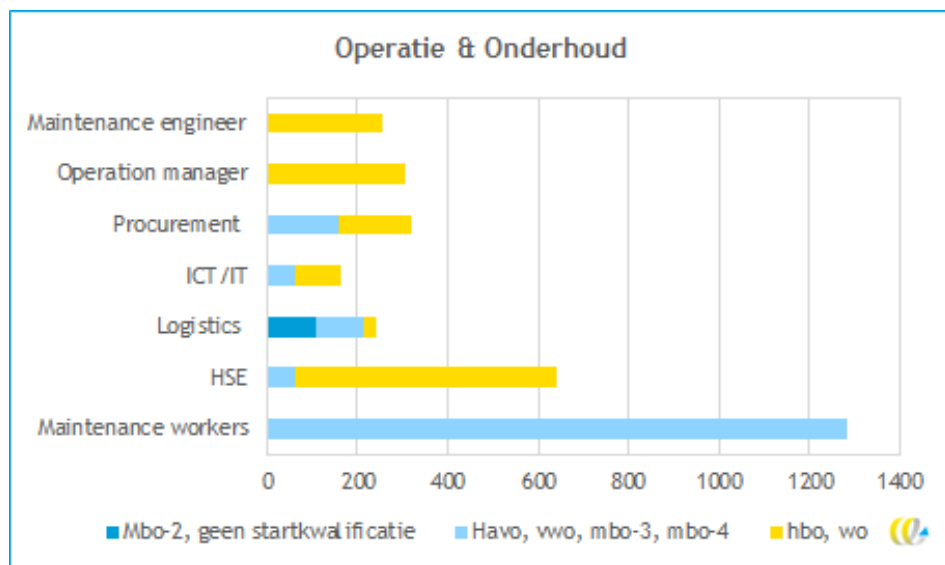
Voor de installatie van de elektrolyser en de benodigde infrastructuur ontstaat de meeste werkgelegenheid bij de monteurs, bouwmedewerkers, engineers en pijpleggers. Dit is te zien in Figuur 14. Sommige installatie- en transportdiensten moeten worden gecontracteerd bij aannemers. Daarnaast bestrijkt het transport van de onderdelen ook een groot deel van de ontstane vraag naar arbeid. Bij de installatie is het uitermate belangrijk dat het zorgvuldig gebeurt, om ongelukken te voorkomen gedurende de constructie en operatie van de waterstofcentrale. Hierdoor ontstaat er relatief veel werkgelegenheid voor personeel dat veiligheidsinspecties uitvoert.

Figuur 14 - Arbeidsvraag bij een investeringsimpuls van € 1,25 miljard voor transport en installatie



Het meeste permanente werk ontstaat in de fase Operatie & Onderhoud en creëert daarom een hoge fte-vraag. Dit is te zien in Figuur 15. Onderhoudsmonteurs en -vakmensen voeren routinematige inspecties uit en vervangen onderdelen. Hierin zit het meeste werk in deze fase, om zo een veilige werkomgeving te creëren, naast de veiligheidscontroles die worden uitgevoerd. Vaak zijn de waterstofcentrales decentrale systemen die grotendeels autonoom opereren. Hiervoor zijn veel ICT-specialisten nodig die de data van een waterstofcentrale bijhouden en controleren. De operatiemanagers overzien het functioneren van de centrale en de infrastructuur die nodig is voor de distributie van de waterstof. Om de waterstofcentrale van reparatieonderdelen, maar ook van water te voorzien, zijn logistieke medewerkers nodig. De water(stof) wordt hiervoor eerst ingekocht. De werkzaamheden in deze fase hebben een permanent karakter.

Figuur 15 - Arbeidsvraag bij een investeringsimpuls van € 1,25 miljard voor operatie en onderhoud



8.3 Invulling van de arbeidsvraag

Om tot een goede invulling van deze vraag te komen voor het Groenvermogen II-project, is er geschikt arbeidsaanbod nodig dat bereidwillig is om in de waterstofsector te werken. Het geschikte arbeidsaanbod wordt bepaald door het kwantitatieve aanbod en de kwaliteit van het aanbod. In vele sectoren slagen veel onderzochte bedrijven er niet in om de vacatures te vullen. Daarnaast is er in de technieksector een te lage instroom om aan de vervangings- en uitbreidingsvraag te voldoen. Veel sectoren vissen namelijk ook uit dezelfde pool als het gaat om technisch personeel.

De gigantische opdracht voor netverzwinging waar TenneT voor staat, vereist een hoge vraag naar onder andere ingenieurs, monteurs en constructiemedewerkers. Veel van dit personeel met redelijk overeenkomende kwalificaties kan ook ingezet worden voor de opschaling van de waterstofcapaciteit in Nederland. Het is daarom niet evident om ervan uit te gaan dat de arbeidsvraag zal worden ingevuld om de waterstofopshaling in het beoogde tempo te realiseren. Daarentegen zijn er voor waterstof, in tegenstelling tot vele andere energie-technologieën, veel hbo- en wo-curricula, blijkt uit de interviews. Dit zorgt vervolgens voor een betere aansluiting van het arbeidsaanbod op de arbeidsvraag en maakt het ook waarschijnlijker dat het opgeleide personeel op het thema waterstof in die sector aan de slag zal gaan. Al ontbreekt dit nog voor de mbo-opleidingen.

Geïnterviewde partijen geven vervolgens aan dat het onderwijs niet snel genoeg wil veranderen om beter aan de arbeidsvraag te voldoen. Daarnaast is het zo dat bedrijven het lastig vinden om concreet aan te geven aan welke beroepen en vaardigheden ze precies behoefte hebben.

Daarnaast is het ook belangrijk om de bereidwilligheid van het arbeidsaanbod om in de waterstofsector te willen werken, mee te nemen. Algemeen blijkt uit de interviews dat werken in de technieksector niet aantrekkelijk is, door onder andere relatief lage lonen, weinig gewaardeerd werk, doordat technische opleidingen Nederlanders niet aanspreken, en te weinig autonomie in de werkzaamheden die men moet uitvoeren. Daarnaast, specifiek op de energietransitie, zijn docenten niet bijgeschoold of gemotiveerd genoeg om les te geven over duurzame energieproductie of over energiebesparingstechnieken. Wel wordt in een interview aangegeven dat de bereidheid om in de waterstofsector te werken groter is dan om bij een netbeheerder aan de slag te gaan. Dit komt volgens de geïnterviewde expert doordat er meer subsidiestromen naar waterstofprojecten gaan dan naar netbeheer, waardoor kosten beter gedrukt kunnen worden.

Als reactie op de krappe arbeidsmarkt proberen bedrijven betere lonen en arbeidsvoorwaarden aan te bieden, zoals een auto van de zaak. Daarnaast luidt het advies ook dat bedrijven de functie-eisen meer moeten loslaten, daardoor mensen breder moeten aannemen en intern verder moet opleiden. Er wordt geopperd om het zogenaamde 'ICT-model' toe te passen, waarin IT en ICT-bedrijven ongekwalificeerd personeel aannemen en hen vervolgens intern opleiden en mee lieten lopen met gekwalificeerd personeel. Dit scheelde ook voor het gekwalificeerd personeel werk. Voor opleidingsinstellingen moet de marketing verbeterd worden om technische opleidingen aantrekkelijk te houden.

Bovendien is samenwerking tussen de markt en opleidingsinstellingen essentieel voor het succes van de opschaling van de waterstofproductie en -capaciteit in Nederland. Momenteel is er een vorm van samenwerking, namelijk een ontwikkeltraject op het gebied van elektrificatie en waterstof. Dit is opgezet met subsidies van het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap, onderwijsinstellingen en het bedrijfsleven. Dit ontwikkeltraject heeft op mbo-niveau 3 twee opleidingen voor de energietransitie gerealiseerd, namelijk:



- Eerste monteur service en onderhoud werktuigkundige installaties, niveau 3.
- Eerste monteur service en onderhoud elektrotechniek en instrumentatie, niveau 3.

8.4 Conclusie

Het Groenvermogen II-casusproject waarmee € 1,25 miljard gemoeid is, liet zien hoe de nieuwe verkregen inzichten en data meer informatie kunnen bieden voor arbeidsprognoses bij een investeringsimpuls in één van de energietechnieken. Met dit investeringsbedrag ontstaat er een arbeidsvraag dat ligt tussen de 4.000 en de 5.700 fte. Het zwaartepunt van de arbeidsvraag komt te liggen in de fase van operatie en onderhoud. In elke fase zijn er arbeidsverdelingen gemaakt van de relevante beroepsgroepen per opleidingscategorie.

Het is niet evident dat deze arbeidsvraag compleet ingevuld gaat worden, aangezien de huidige arbeidsmarkt te krap is. Dit speelt vooral voor technisch en ICT-personeel. Daarom moeten bedrijven, naast betere lonen en arbeidsvoorwaarden, mensen breder aannemen en intern verder opleiden. Daarnaast moeten bedrijven nauwer en duidelijker samenwerken met opleidingsinstellingen, zodat het aanbod van arbeid beter kan aansluiten op de vraag.

9 Discussie en conclusie

9.1 Discussie

Dit onderzoek brengt de beroepen per opleidingsniveau in kaart voor de waardeketen van verschillende energietechnologieën. De arbeidsverdelingen zijn opzichzelfstaand gerepresenteerd als statistische getallen. Deze veranderen dus niet over de tijd, terwijl het kan zijn dat er door technologieontwikkeling bijvoorbeeld relatief minder arbeidsuren moeten worden besteed aan constructiemedewerkers in de installatiefase. Het is daarom ten zeerste aangeraden om dit onderzoek te herhalen wanneer op termijn de technologische ontwikkelingen de arbeidsverdelingen significant hebben beïnvloed.

Het model kijkt naar de totale arbeidsvraag. Bij investeringen in de energietechnieken kan een deel neerstrijken buiten Nederland, door de internationale karakteristieken van de aanvoerlijnen. Bijvoorbeeld de productie van zonne-energiepanelen vindt voornamelijk in Azië plaats. Dit zal weinig Nederlandse werkgelegenheid opleveren, wanneer het ingevuld kan worden door het arbeidsaanbod. Hierdoor vallen de daadwerkelijke arbeidsvraagcijfers lager uit voor de productiefase van zonne-energie in Nederland. Dit geldt ook voor de productie en installatie van windmolens op zee.

Tevens kan er voor een energietechnologie een overlap zitten tussen beroepen in een bepaalde fase. Dit kwam naar voren bij zonne-energie in de onderzoek & ontwikkelingsfase voor onderzoekers en engineers. Het is daarom goed om in studies die gebruik maken van dit model, notitie hiervan te maken door eerst onderzoekers en engineers opgeteld te vermelden, vervolgens kunnen ze separaat toegelicht worden. Verder is het zo dat dezelfde beroepsgroepen niet altijd inzetbaar zijn voor verschillende technologieën. Een elektro-technicus voor zonne-energie moet eerst bijgeschoold worden, voordat diegene in de offshore windsector aan de slag kan. Dit heeft te maken met de vereiste vaardigheden, zoals de offshore certificaten die vereist zijn voor veilig werk op zee.

Daarbovenop zijn er geen interviews afgenomen om de data en inzichten te controleren voor netverzwaring en energiebesparing. Hierdoor moeten er interviews worden afgenomen voor studies die gebruikmaken van arbeidsvraaginzichten met het werkgelegenheidsmodel voor netverzwaring en energiebesparing (all electric en collectieve verwarming).

De indeling van beroepsgroepen en opleidingsniveau is een subjectieve keuze en niet in beton gegoten. De keuze voor de gebruikte indeling kwam tot stand door de beschikbare inzichten in de literatuur op het gebied van relevante beroepen per opleidingsniveau. Vervolgens is de keuze gemaakt om de driestap-opleidingsindeling te volgen van het CBS. Wanneer er meerdere lagen van opleidingsniveaus zouden worden genomen, worden de data-inschattingen minder nauwkeurig, omdat gedurende de interviews de arbeidsverdelingen per specifiek opleidingsniveau onbekend zijn. Voor sommige beroepen zijn er geen relevante opleidingen, maar wel kwalificaties nodig die binnen bedrijven kunnen worden aangeleerd. Daarom zou het Europees Kwalificatiekader een goede maatstaf kunnen zijn in vervolgonderzoeken, omdat verschillende diploma's worden vertaald in één consistente maatstaf.

Ten slotte is het zo dat dit model de arbeidsvraag in kaart brengt. Dit impliceert dus niet dat deze vraag automatisch ingevuld is door het arbeidsaanbod en er dus werkgelegenheid ontstaat.

9.2 Conclusie en aanbeveling

De groeiende hoeveelheid broeikasgassen dat wordt uitgestoten door mensen, leidt tot negatieve systematische veranderingen in het klimaat. Nederland, als lid van de Europese Unie, heeft als doel in 2030 de uitstoot met 49% te hebben gereduceerd om zo opwarming van de aarde onder 2 °C te houden. Zo heeft Nederland het Energieakkoord en het Klimaatakkoord opgesteld om mitigatietechnologieën te implementeren ter bevordering van een duurzamere toekomst. Deze adaptatiestrategieën zijn grotendeels gericht op het veranderen van het Nederlandse energiesysteem. Helaas stuit de energietransitie op hindernissen, wat de uitrol vertraagd. Er is een dringend arbeidstekort, vaak over de gehele breedte van de waardeketen. Daarnaast is er ook een tekort op kwalitatief gebied, doordat opleidingen soms nog ontoereikend zijn in het aanleren van vaardigheden die vereist zijn voor klimaatbanen.

Om meer inzicht te verkrijgen in de aard en samenstelling van de berekende vraag naar arbeid van het werkgelegenheidsmodel, is in deze studie een literatuurstudie uitgevoerd, data verzameld en zijn interviews afgenomen. Een groot gedeelte van de literatuur in dit rapport focust zich op de arbeidsmarkt voor de energietransitie. De literatuur biedt een overzicht van de problemen en gevolgen in de arbeidsmarkt voor de energietransitie. Hierin wordt de korte termijn van de lange termijn onderscheiden, evenals vraag en aanbod. Daarnaast zijn er, door gebruik te maken van de literatuur, indelingen gemaakt van de waardeketen voor verschillende energietechnologieën. Deze technologieën zijn wind op land en zee, zonne-energie, biomassa en -gas, waterstof, netverzwaring en energiebesparing. Vervolgens is algemene Nederlandse arbeidsdata toegepast om een eerste indruk van de arbeidsverdelingen te krijgen. Vervolgens is deze data getoetst bij experts, door middel van interviews, waardoor correcties doorgevoerd konden worden.

Het werkgelegenheidsmodel focust zich op de directe vraag naar arbeid op de korte termijn, op basis van een investeringsimpuls of een toegevoegde energieproductiecapaciteit, distributiecapaciteit of -besparingscapaciteit in Nederland. Het model kijkt niet naar werkgelegenheid, maar naar de vraag van arbeid. Werkgelegenheid ontstaat wanneer de vraag van arbeid ingevuld kan worden door het aanbod van arbeid. Het model reflecteert dus de benodigde arbeidsmarktcapaciteit om energieprojecten te realiseren.

Het model is vervolgens toegepast op een relevante case voor waterstof, genaamd Groenvermogen II. Deze case liet zien hoe de nieuwe verkregen inzichten en data meer informatie kunnen bieden voor arbeidsvraagprognoses bij een investeringsimpuls in een van de energietechnieken.

Dit model kan verder worden uitgebreid door het toevoegen van een fase in de waardeketen om deze te laten sluiten. Deze keten zou dan de ontmantelingsfase heten, waarin materialen worden geborgd, afgevoerd en gerecycled. Dit speelt richting 2050 een grotere rol door opgevoerde capaciteit dat deels afgeschreven is. Daarnaast moeten de data voor energiebesparing en netverzwaring nog geverifieerd en gecontroleerd worden bij experts. Het is verder interessant om één energietechnologie uit te diepen en meer experts daarover te interviewen om een completer beeld te krijgen.

Bovendien is het interessant om te onderzoeken hoe goed de arbeidsvraag ingevuld kan worden door het arbeidsaanbod in kaart te brengen. Daarna kan met behulp van onderzoeksrapporten van Knol & Coolen (2019), UWV (2022b) en Straatmeijer & Koning (2015) gekeken worden hoe goed de arbeidsmarktkwalificaties van het arbeidsaanbod aansluiten bij de vraag naar arbeid. Vervolgens kan er een spanningsindicator worden geconstrueerd.

10 Referenties

- Agentschap NL. (2012). *Integraal ontwerpen*. RVO.
<https://www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/Integraal%20ontwerpen%20-%20vs%20jan%2712.pdf>
- Alcott, B. (2005). *Jevons' paradox*. *Ecological Economics*, 54(1), 9-21.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.03.020>
- Bachus, A. A. F. (2019, juni). "Direct Labor Opportunities of Investments in the Energy Transition in the Netherlands. Vrije Universiteit Amsterdam.
- Bakens, J., Bijlsma, I., Dijkman, S., Fouarge, D., & Goedhart, R. (2021). *De arbeidsmarkt naar opleiding en beroep tot 2026*. ROA. ROA Reports No. 005
<https://doi.org/10.26481/umarep.2021005>
- Bètalerarenkamer. (2022, maart). Bètalerarenmonitor: De huidige situatie rondom het lerarentekort in de bètavakken in het voortgezet onderwijs.
<https://betadecanen.files.wordpress.com/2022/04/betalerearenmonitor-rapport-def-.pdf>
- Blanco, M. I., & Rodrigues, G. (2009). *Direct employment in the wind energy sector: An EU study*. *Energy policy*, 37(8), 2847-2857.
- Boon, M., Groot, P., Koning, M., Nicolas, R., Stiemer, D., & Uunk, V. (2020, juli). *De bouw in 2030*. <https://www.bouwendnederland.nl/media/8650/de-bouw-in-2030-2-7-2020.pdf>
- Bowen, A., Kuralbayeva, K., & Tipoe, E. L. (2018). *Characterising green employment: The impacts of 'greening' on workforce composition*. *Energy Economics*, 72, 263-275.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.03.015>
- Bray, R., Mejía Montero, A., & Ford, R. (2022). *Skills deployment for a 'just' net zero energy transition*. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 42, 395-410.
<https://doi.org/10.1016/j.eist.2022.02.002>
- Bulavskaya, T., & Reynès, F. (2018). *Job creation and economic impact of renewable energy in the Netherlands*. *Renewable Energy*, 119, 528-538.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.09.039>
- Byun, J., Hong, I., Kang, B., & Park, S. (2011). *A smart energy distribution and management system for renewable energy distribution and context-aware services based on user patterns and load forecasting*. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 57(2), 436-444. <https://doi.org/10.1109/tce.2011.5955177>
- Cameron, L., & Van der Zwaan, B. (2015). *Employment factors for wind and solar energy technologies: A literature review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 160-172.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.001>
- CBS. (2014). Afbakening energiesector voor de NEV2014. <https://www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2014/41/afbakening-energiesector-voor-de-nev2014>



CBS. (2022). Werkzame beroepsbevolking; beroep [Dataset]. Centraal Bureau Voor De Statistiek (CBS).

Centraal Bureau voor de Statistiek. (2022a, februari 14). *Vacaturegraad naar bedrijfstak*. Geraadpleegd op 28 maart 2022, van https://www.cbs.nl/item?sc_itemid=34b4b333-0068-410b-bc39-6798674fb524&sc_lang=nl-nl

Centraal Bureau voor de Statistiek. (2022b, 14 februari). *Werkloosheid naar onderwijsniveau*. Geraadpleegd op 28 maart 2022, van https://www.cbs.nl/item?sc_itemid=1f442962-cd1d-43ce-895a-dc93b282c845&sc_lang=nl-nl

Chen, S., Feng, H., Zheng, J., Ye, J., Song, Y., Yang, H., & Zhou, M. (2020). Life Cycle Assessment and Economic Analysis of Biomass Energy Technology in China: A Brief Review. *Processes*, 8(9), 1112. <https://doi.org/10.3390/pr8091112>

Chen, X. (2017). Elasticity as Relative Slopes: A Graphical Approach to Linking the Concepts of Elasticity and Slope. *The American Economist*, 62(2), 258-267. <https://doi.org/10.1177/0569434516682713>

CPB. (2013). *Economische analyse van korte en lange termijn knelpunten op de arbeidsmarkt*. <https://www.cpb.nl/publicatie/economische-analyse-van-korte-en-lange-termijn-knelpunten-op-de-arbeidsmarkt>

CPB. (2022, maart). *Centraal Economisch Plan 2022*. <https://www.cpb.nl/sites/default/files/omnidownload/Centraal-Economisch-Plan-CEP-2022.pdf>

CSWW. (2021). Werkplan Nationaal Waterstof Programma 2022-2025 (Nr. 14). <https://nationaalwaterstofprogramma.nl/attachment/entity/f4c68444-8865-4abb-a6fe-121b1bc65638>

DNV GL. (2020). Noordzee Energie Outlook. Arnhem, DNV GL Netherlands B.V.
Fragkos, P., & Paroussos, L. (2018). *Employment creation in EU related to renewables expansion*. *Applied Energy*, 230, 935-945. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.032>

Europese Commissie. (2019, 12 oktober). Een Europese Green Deal. Europese Commissie - European Commission. Geraadpleegd op 27 juni 2022, van https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_nl

GroenvermogenNL. (2022, 14 april). 500 miljoen extra voor groene waterstof en chemie via GroenvermogenNL. Geraadpleegd op 17 juni 2022, van <https://www.groenvermogennl.org/nieuws/500-miljoen-extra-voor-groene-waterstof-en-chemie-via-groenvermogennl>

Grubb, M. (1990). *Communication Energy efficiency and economic fallacies*. *Energy Policy*, 18(8), 783-785. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(90\)90031-x](https://doi.org/10.1016/0301-4215(90)90031-x)

Hamermesh, D. S. (1996). *Labor Demand*. Amsterdam University Press.

Hamilton, J. (2011). *Careers in Solar Power*. https://www.bls.gov/green/solar_power/solar_power.pdf



- Hamilton, J., & Liming, D. (2010). Careers in Wind Energy. https://www.bls.gov/green/wind_energy/wind_energy.pdf
- Horbach, J., Rennings, K., & Sommerfeld, K. (2015, November). *Circular economy and employment*. In 3rd IZA Workshop: Labor Market Effects of Environmental Policies (pp. 1-39). <https://www.werk.nl/arbeidsmarktinformatie/datasets>
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press.
- IRENA. (2018). Renewable Energy Benefits: Leveraging local capacity for offshore wind. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/May/IRENA_Leveraging_for_Offshore_Wind_2018.pdf
- Jansema-Hoekstra, K., Vrijburg, H., Brink, C., & De Boer, H. W. (2018). *De werkgelegenheidseffecten van fiscale vergroening*. <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-cpb-2018-de-werkgelegenheidseffecten-van-fiscale-vergroening-3004.pdf>
- Knol, E. & Baken, J. (2018). *Invulling groeiende arbeidsvraag in offshore windsector vanuit offshore olie- en gassector*. 10.13140/RG.2.2.35613.41445.
- Knol, E., & Coolen, E. (2019). *Employment analysis (2019-2023) of various fields of activities in the Dutch offshore wind sector*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32021.47845>
- Koning, M., & Van Dril, A. W. N. (2016). *Energieakkoord: Effecten van de energietransitie op de inzet en kwaliteit van arbeid*. ECN. <http://resolver.tudelft.nl/uuid:e687eb8a-520f-4a51-9499-97a98267a5cc>
- CE Delft (2021). Werk door investeringen in groene waterstof. Update en uitbreiding. CE Delft. https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/04/CE_Delft_200427_Werk_door_groene_waterstof_investeringen_D_EF.pdf
- Ligtvoet, A., A. Pickles & J. van Barneveld (2016). *Kwalitatieve impact van het Energieakkoord op werkgelegenheid*. Technopolis group.
- Linders, M. R. J. S., Segers, R., & Middelkoop, M. (2021, 30 september). *Hernieuwbare Energie in Nederland 2020*. Centraal Bureau voor de Statistiek. Geraadpleegd op 17 maart 2022, van <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/aanvullende-statistische-diensten/2021/hernieuwbare-energie-in-nederland-2020/5-zonne-energie>
- Llera, E., Scarpellini, S., Aranda, A., & Zabalza, I. (2013). *Forecasting job creation from renewable energy deployment through a value-chain approach*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 21, 262-271



Matemilola, S., Fadeyi, O., & Sijuade, T. (2020). *Paris Agreement*. *Encyclopedia of Sustainable Management*, 1-5. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02006-4_516-1

Mather, D. (1999). *A framework for building spreadsheet based decision models*. *Journal of the Operational Research Society*, 50(1), 70-74.

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. (2022, 14 april). Groenvermogen II. Projecten ronde 2 | Nationaal Groeifonds. Geraadpleegd op 17 juni 2022, van <https://www.nationaalgroefonds.nl/projecten-ronde-2/voorstellen-toegangspoort/groenvermogen-ii>

Ottens, M. (2016). *Werken met energie; een meervoudige case-study naar de werkgelegenheidseffecten van het energieakkoord voor duurzame groei*. SER.

Paletto, A., Bernardi, S., Pieratti, E., Teston, F., & Romagnoli, M. (2019). Assessment of environmental impact of biomass power plants to increase the social acceptance of renewable energy technologies. *Heliyon*, 5(7), e02070. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02070>

Prüfer, P., & Den Uijl, M. (2020, juli). *Transitiemogelijkheden in coronatijd voor de topsector Energie*. <https://www.wijzijkatapult.nl/files/downloads/Transitiemogelijkheden%20in%20coronatijd%20voor%20de%20topsector%20Energie%20-%20CentERdata%20-%20eindrapport%20-%20def.pdf>

Regeerakkoord (2017). *Vertrouwen in de toekomst*. <https://www.kabinetsformatie2017.nl/documenten/publicaties/2017/10/10/regeerakkoord-vertrouwen-in-de-toekomst>.

Reijerkerk & van Rhee. (2019). Waterstof: kansen voor de Nederlandse industrie.

Richards, E. (2013). Careers in Biofuels. <https://www.bls.gov/green/biofuels/biofuels.pdf>

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2020). Monitor Zon-pv 2021 in Nederland. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2021/09/23/monitor-zon-pv-in-nederland>

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

Rijksoverheid. (2021). *Klimaatbeleid - Arbeidsmarkt en scholing [Dataset]*. CBS & Techniekmonitor. https://dashboardklimaatbeleid.nl/jive/jivereportcontents.ashx?report=arbeidsmarkt_en_scholing

Roedel, R. (2019). Research & Development. CBS. <https://longreads.cbs.nl/ict-kennis-en-economie-2019/research-en-development/>

Rooijers, F., Hers, S., & Den Haan, M. (2020). *Systeemstudie energie-infrastructuur Limburg*. <https://ce.nl/publicaties/systeemstudie-energie-infrastructuur-limburg/>

Samenwerkingsorganisatie Beroepsonderwijs Bedrijfsleven. (2021). Energietransitie, circulariteit en klimaatadaptatie.



<https://topsectorenergie.nl/sites/default/files/uploads/HCA/Adviesrapport-energietransitie-circulariteit-en-klimaatadaptatie.pdf>

SER. (2018). *Energietransitie en werkgelegenheid* (Nr. 18/03).

<https://www.ser.nl/publicaties/energietransitie-en-werkgelegenheid>

Sooriyaarachchi, T. M., Tsai, I. T., El Khatib, S., Farid, A. M., & Mezher, T. (2015). *Job creation potentials and skill requirements in, PV, CSP, wind, water-to-energy and energy efficiency value chains*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 653-668.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.143>

Straatmeijer, J. L., & Koning, M. A. (2015). *Energiebesparende technieken en kwalificaties bouwpersoneel*. EIB.

https://www.eib.nl/pdf/energiebesparende_technieken_en_kwalificaties_bouwpersoneel.pdf

Strategie Summit Energie & Utilities. (2019). *Realisatie van de energietransitie*.

<https://ahak.nl/uploads/assets/uploads/realisatie-van-de-energietransitie.pdf>

Strietska-Illina, O., International Labour Office, Hofmann, C., Haro, M. D., International Labour Office, European Centre for the Development of Vocational Training, & Jeon, S. (2011). *Skills for Green Jobs*. ILO.

UWV. (2018, mei). *Installatiebranche: Factsheet arbeidsmarkt*.

https://www.uwv.nl/overuwv/Images/Factsheet_Installatiebranche.pdf

UWV. (2019). *Factsheet Bouw*. <https://www.uwv.nl/overuwv/kennis-cijfers-en-onderzoek/arbeidsmarktinformatie/factsheet-bouw-2019.aspx>

UWV. (2021). *Dashboard Skills en beroepen*. Geraadpleegd op 29 maart 2022, van

<https://www.werk.nl/arbeidsmarktinformatie/dashboards/skills>

UWV. (2022a). *Dashboard Datasets over werk en inkomen [Dataset]*. UWV.

UWV. (2022b). *Klimaatbanen in de gebouwde omgeving*.

https://www.werk.nl/imagesdxa/publicatie_klimaatbanen_in_de_gebouwde_omgeving_tcm95-435269.pdf

Van Poppel, J. (2020, 31 augustus). *Zonder biomassa haalt Nederland zijn klimaatdoelen niet. Hoe werkt het en hoe duurzaam is het?* De Correspondent. Geraadpleegd op 8 april 2022, van

<https://decorrespondent.nl/11466/zonder-biomassa-haalt-nederland-zijn-klimaatdoelen-niet-hoe-werkt-het-en-hoe-duurzaam-is-het/5791484190492-448cf73b>

Weterings, A., Bakens, J., Ivanova, O., & Fouarge, D. (2019). *Fricctie op de arbeidsmarkt door de energietransitie - een modelverkenning*. PBL.

<https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2019-fricctie-op-de-arbeidsmarkt-door-de-energietransitie-3438.pdf>

Weterings, A., Ivanova, O., Diodato, D., Lankhuizen, M., Thissen, M., Schure, K., & Koelmeijer, R. (2018). *Effecten van de energietransitie op de regionale arbeidsmarkt - een quickscan*. PBL.

<https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2018-effecten-van-de-energietransitie-3006.pdf>



Wolf, S., Teitge, J., Mielke, J., Schütze, F., & Jaeger, C. (2021). *The European Green Deal – More Than Climate Neutrality*. *Intereconomics*, 56(2), 99-107.
<https://doi.org/10.1007/s10272-021-0963-z>

Zandberg, J., & Kraaijenbrink, R. (2021). Rapport categorie 3 data nationale milieudatabase: Kabelwerk (1.0). LBPSIGHT. Zoetermeer, FME.

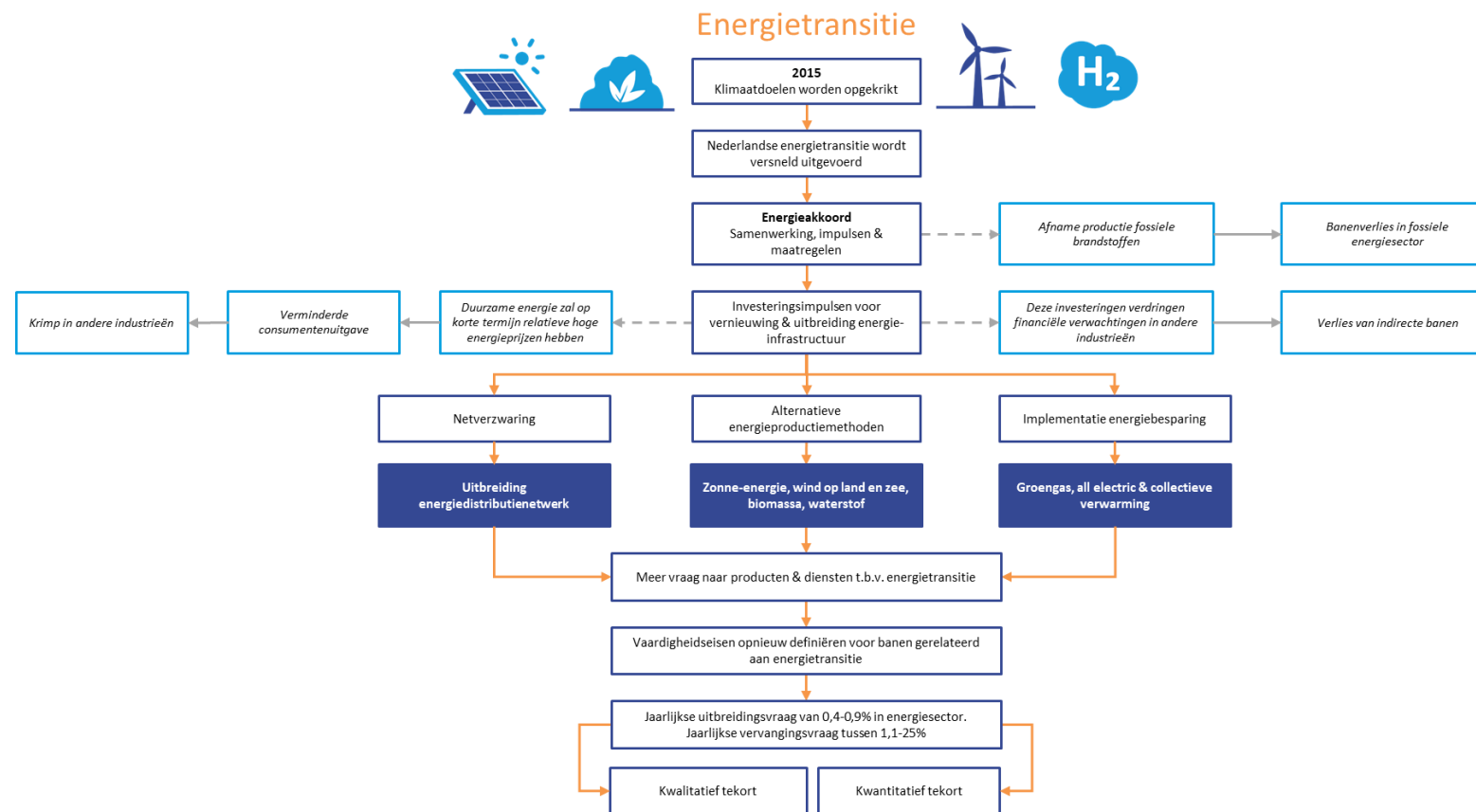


A Geïnterviewde partijen

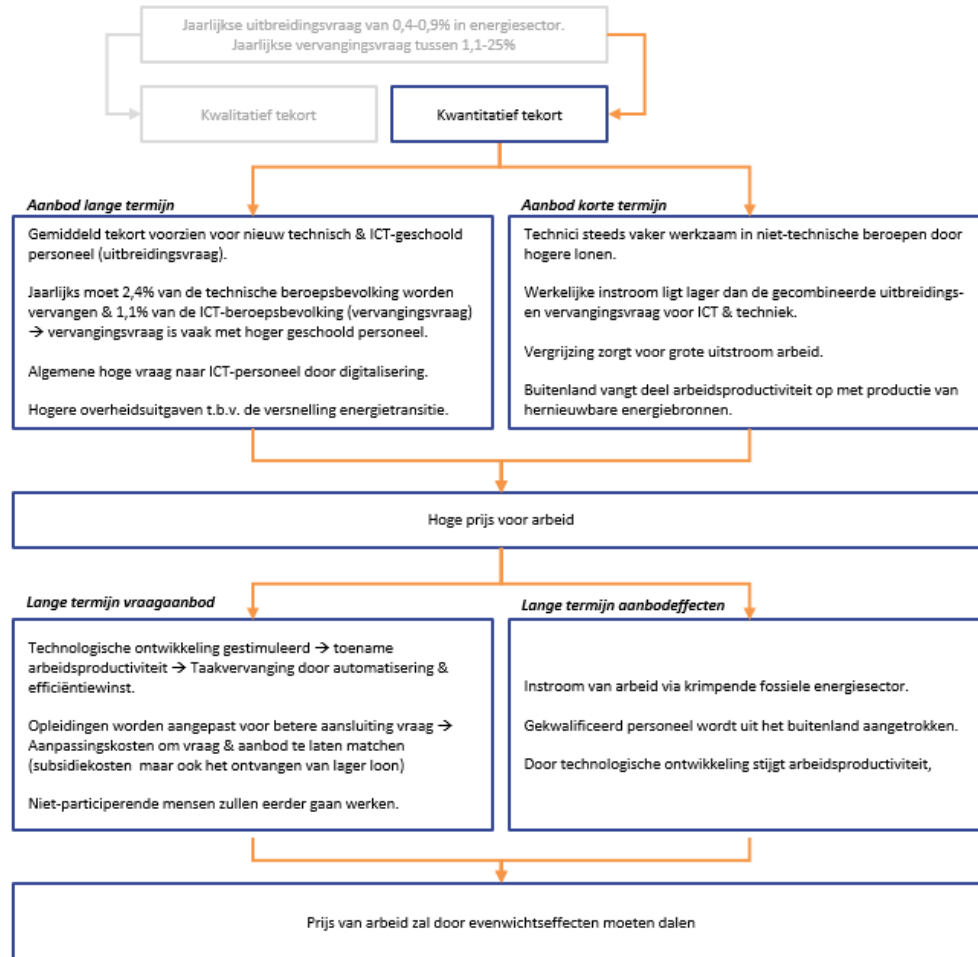
Geïnterviewde partij	Sector
Shell (tweemaal)	Waterstof
NBKL	Biomassa
Grow	Wind op zee
TKI Urban Energy	Zonne-energie
EQUANS	Waterstof
Enexis	Waterstof
Techniek College Rotterdam	Opleidingsinstituut
Holland Solar	Zonne-energie
Talent voor Transitie	Arbeidsmarkt voor de energietransitie
NWEA	Wind op land (schriftelijk overleg)

B Mindmap Energietransitie

Figuur 16 - Conceptueel framework Deel 1



Figuur 17 - Conceptueel framework Deel 2



Figuur 18 - Conceptueel framework Deel 3

