



# Arbeidsmarktonderzoek waterstoftransitie



**seo** • economisch onderzoek

# Arbeidsmarktonderzoek waterstoftransitie

Dit rapport is geschreven door:

Amanda Bachaus, Martijn Blom, Emiel van den Toorn, Ward van Santen (CE Delft)

Nard Koeman, Elène Lenders, Henri Bussink, Tobias Vervliet (SEO Economisch onderzoek)

Delft, CE Delft, september 2023

Publicatienummer: 23.230143.144

Opdrachtgever: GroenvermogenNL

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via [www.ce.nl](http://www.ce.nl)

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider 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 meer dan 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



# Inhoud

	Infographic	5
	Samenvatting	6
	Aanbevelingen	7
1	Inleiding	9
	1.1 Aanleiding	9
	1.2 Doel van het project	9
	1.3 Afbakening	9
	1.4 Leeswijzer	10
2	Methodologie	11
	2.1 Inleiding	11
	2.2 Plan van aanpak	11
	2.3 Methodiek in vogelvlucht	12
	2.4 Methodiek	15
3	Resultaten Fase 1	19
	3.1 Inleiding	19
	3.2 Landenonderzoek	19
	3.3 Doelen en ambities	21
	3.4 Historisch onderzoek	28
	3.5 Beschrijving en afbakening van de waardeketen	39
	3.6 Scenario's	43
	3.7 Tijdspaden	49
	3.8 Conclusie	51
4	Vraagraming	53
	4.1 Inleiding	53
	4.2 Scenario's en fasen	53
	4.3 Totale directe vraag naar arbeid	54
	4.4 Beroepen en opleidingsniveaus	56
	4.5 Conclusie vraagraming	68
5	Aanbodraming	71
	5.1 Inleiding	71
	5.2 Afbakening waterstofsector	71
	5.3 Totale werkgelegenheid	72
	5.4 De instroom vanuit opleidingen	76
	5.5 De instroom vanuit andere sectoren (zijinstroom)	80
	5.6 De instroom vanuit het buitenland (arbeidsmigratie)	84
	5.7 Conclusie aanbodraming	88



6	Match van vraag en aanbod en handelingsperspectieven	90
	6.1 Inleiding	90
	6.2 Match van vraag en aanbod	90
	6.3 Kwalitatieve inzichten omtrent matching vraag en aanbod	93
	6.4 Handelingsperspectieven en benodigde kennis	94
	6.5 Conclusie	97
7	Conclusie en aanbevelingen	99
	7.1 Conclusie	99
	7.2 Aanbevelingen	102
8	Bibliografie	104
A	Factsheets landenonderzoek	107
B	Interviews	120
C	Methodiek arbeidsvraag	121
	C.1 Inleiding	121
	C.2 kwalificatiemodule	121
D	Uitsplitsingen arbeidsaanbod	123



# Infographic

Grijze waterstof

Nederland is de op één na grootste producent van grijze waterstof in Europa. De groene waterstofketen in Nederland staat echter nog in de kinderschoenen.

Groene waterstof

groen vermogen.nl

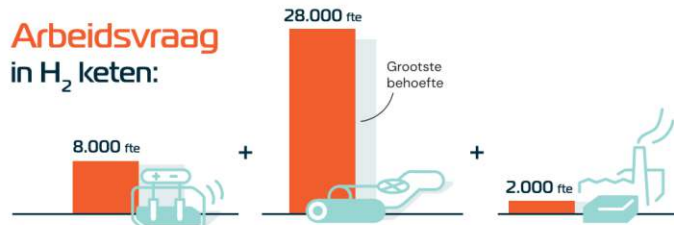


## Arbeidsmarkt waterstoftransitie

Nederland gebruikt groene waterstof om de overgang naar een duurzame samenleving en industrie te bevorderen. Dit vereist aandacht voor zowel het beschikbare arbeidsaanbod als de vraag naar arbeid in deze sector.



### Arbeidsvraag in H<sub>2</sub> keten:



**Totaal: 38.000 fte**

De totale arbeidsvraag in de periode 2024-2030.

Het grootste deel ligt in de midstream: de aanleg van de infrastructuur en opslagmogelijkheden.

Kennis + vaardigheden

#### Upstream Import en productie

Vooraf technische kennis nodig over o.a. de ontwikkeling, installatie, onderhoud en bijbehorende veiligheidsprocedures van ontvangst-installaties en electrolyzers nodig.

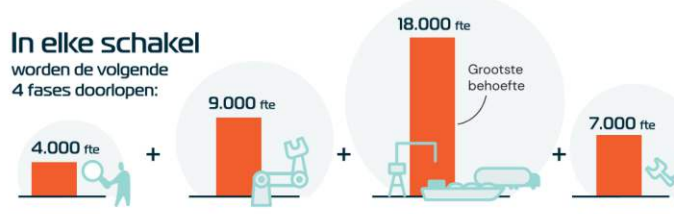
#### Midstream Waterstofbackbone

Vaardigheden gericht op bouwkunde (ontwerp), industriële procestechniek en gebiedsontwikkeling.

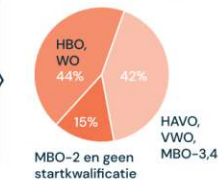
#### Downstream Mobiliteit en industrieclusters

Technische kennis nodig over de verschillende toepassingen van groene waterstof incl. voorschriften

### In elke schakel worden de volgende 4 fases doorlopen:



Niveau opleiding nodig:



Beroepen

#### 1. Onderzoek & ontwikkeling

- Onderzoekers, ingenieurs & bouwkundigen,
- ICT,
- Juridische-, financiële en beleidsmedewerkers

#### 2. Productie onderdelen & machines

- Assemblagemedewerkers,
- IT-specialisten,
- Ingenieurs,
- HSE-medewerkers,
- Inkoopers

#### 3. Transport & installatie

- Logistiek,
- Installatiemonteurs,
- Constructiemedewerkers,
- Elektriciens,
- Loodgieters,
- ICT

#### 4. Exploitatie & onderhoud

- Onderhoudsmedewerkers,
- HSE-medewerkers,
- Constructiemedewerkers,
- Elektriciens,
- Ingenieurs & bouwkundigen



Vraag naar arbeid in andere sectoren.

Ook de buurlanden willen voor 2030 een waterstofeconomie.

### Arbeidsaanbod:

#### Opleiding

27.500 fte  
Opleidingsinstellingen en bedrijven uit de waardeketen moeten in beeld brengen wat er nodig is aan vaardigheden en hoe de opleiding hierop kan inspelen.

**Totaal: 134.500 fte**  
Jaarlijkse instroom

**Zij-instroom uit andere sectoren**  
35.000 fte

#### Het buitenland

72.000 fte  
Het arbeidsaanbod bestaat uit een groot deel werknemers uit het buitenland



# Samenvatting

De op fossiele grondstoffen gebaseerde economie moet worden omgebouwd en Nederland zet groene waterstof in als 'trekker' voor deze transitie. Om deze transitie te realiseren is GroenvermogenNL opgericht, een organisatie die als doel heeft het ontwikkelen en versnellen van de markt voor groene waterstof en groene chemie in de periode tot 2028. Op verzoek van GroenvermogenNL en Platform Talent voor Technologie hebben CE Delft en SEO Economisch Onderzoek een arbeidsmarktonderzoek uitgevoerd om de kennisbehoefte rondom groene waterstof in beeld te brengen. Deze studie geeft inzicht in de vraag en het aanbod van banen in de waterstofketen, tussen 2024 en 2030, met een doorkijk in de jaren erna. Hierbij wordt gekeken naar de up- mid- en downstreamfase van de waterstofketen. Aan bod komen de benodigde opleidingsniveaus, beroepen en vaardigheden van personeel dat de komende zes jaar en daarna nodig is in de waterstofketen. Ook gaan we dieper in op het potentiële arbeidsaanbod vanuit de opleidingen, zijinstroom en personeel uit het buitenland voor deze waterstofbanen.

## **De waterstoftransitie vraagt, in de periode 2024-2030, om 3% extra arbeid ten opzichte van het huidige, totale aanbod**

- In deze studie sluiten we aan bij de scenario's die in de Integrale Infrastructuurverkenning van de netbeheerders (II3050) zijn opgesteld. De bovengrens van de totale directe vraag naar arbeid is in de periode 2024-2030 ongeveer 38.000 fte. Dit kan worden onderverdeeld in bijna 31.000 fte tijdelijke banen en 7.000 cumulatieve permanente banen (jaarlijks ongeveer 1.000 fte).
- De benodigde beroepen, opleidingsniveaus en bijbehorende aantallen personeel verschillen per onderdeel van de waardeketen (up-, mid- en downstream) en de verschillende fasen (R&D, productie, transport & installatie, exploitatie & onderhoud). De arbeidsvraag is gericht op technisch geschoold personeel.
- Belangrijke kennisthema's die de arbeidsvraag aanwakkeren zijn elektrochemie, elektrotechniek, procestechnologie, chemie, verbrandingstechnologie, rol van waterstof in systeemintegratie en (micro)biologie. Per regio kan een aantal kennisthema's extra relevant zijn, bijvoorbeeld netcongestie in Oost-Nederland en de vrachtvervoersector in Zuid- en Oost-Nederland.
- In deze analyse hebben we alleen gekeken naar de toename van de directe vraag naar arbeid als gevolg van investeringen in de waterstofsector. De vermindering van conventionele energie, afname van consumptie door investeringen in andere goederen of diensten (crowding out), en de toename van consumptie en investering door energiebesparing (rebound) zijn niet meegenomen.

## **Momenteel zijn er 1,2 miljoen fte werkzaam in relevante sectoren voor de waterstoftransitie en bedraagt de jaarlijkse instroom 135.000 fte**

- Om het arbeidsaanbod in beeld te brengen kijken we naar historische ontwikkelingen. Op dit moment zijn er 1,2 miljoen fte werkzaam in sectoren die relevant zijn voor de waterstoftransitie (bijvoorbeeld industrie, bouwnijverheid, productie en distributie van en handel in elektriciteit, gas, stoom en gekoelde lucht, etc.); in 2030 neemt dit toe tot 1,3 miljoen fte.
- De jaarlijkse instroom in deze sectoren vanuit opleidingen, zijinstroom en arbeidsmigratie lag de afgelopen jaren rond de 135.000 fte. Het ging daarbij om (orde van

grootte) instroom vanuit het onderwijs van 28.000 fte, instroom vanuit andere sectoren van 35.000 fte en instroom vanuit het buitenland van 72.000 fte.

- De instroom vanuit opleidingen zal naar verwachting de komende jaren beperkt toenemen, doordat het aantal jongeren dat de arbeidsmarkt instroomt lager is dan de afgelopen jaren. Het aantal zijinstromers beweegt vooral mee met de economische conjunctuur. Een zwakke conjunctuur heeft effect op de vraag naar fossiele energie, waardoor personeel uit die sector eventueel beschikbaar komt voor de waterstoftransitie. Beide factoren maken dat de conjunctuur naar huidige economische ramingen van CPB (MEV-2024) afkoelt waarbij mogelijk de vraag naar fossiele energie ook daalt. Instroom vanuit het buitenland via arbeidsmigratie blijft daarom relevant.
- Het beschikbare arbeidsaanbod wordt in en door vele sectoren benut, niet alleen in de waterstofsector. Krapte in de markt van technisch geschoold personeel vormt op dit moment een belangrijke beperking voor de energietransitie.

### **Koppeling tussen vraag en aanbod: aanzienlijke tekorten op de arbeidsmarkt op korte termijn**

- Er is in de periode tot 2026 sprake van aanzienlijke arbeidsmarktkrapte, vooral voor technisch geschoold personeel. Dat beperkt de snelheid waarmee de waterstofeconomie kan worden gerealiseerd. De vraag naar kennis en vaardigheden om verschillende transitie te realiseren is zeer hoog en het beschikbare aanbod gering.
- Na 2026 koelt de economie af. Hierdoor wordt de markt voor elektrotechnische ingenieurs, machinemonteurs, elektriciens, elektronicamonteurs en productieleders industrie en bouw ruimer, maar blijft deze krap.
- Voortdurende krapte heeft gevolgen voor het groeitempo van productie en afname van groene waterstof in de economie. Er dient rekening gehouden te worden met vertraging van investeringen en realisatie. Deze vertraging spreidt de vraag naar arbeidskrachten over de tijd en verlaagt de druk op de arbeidsmarkt, maar leidt tot een later doelbereik van de waterstofeconomie.

### **Aanbevelingen**

#### **Vergroot het potentieel zijinstromers**

- a Deze groep vormt met 1,2 mln. fte een belangrijk deel van het potentiële aanbod dat met gerichte ondersteuning om- en bijgeschoold kan worden en de krapte aan technisch personeel kan verminderen.
- b De Human Capital Agenda voor deze groep kan relatief eenvoudig concreet worden gemaakt. Deze programma's kunnen zich onder andere richten op ontwikkelen van elektrochemische expertise en veiligheidsvoorschriften bij nieuwe waterstofproductie- en toepassingen.
- c Een modulaire opbouw van het curriculum biedt een aantrekkelijke optie om de opleiding en bijscholing te versnellen, waarbij ook private opleiders een deel van de opleidingen kunnen verzorgen.

#### **Vergroot het potentieel afgestudeerden door samenwerking en systeemdenken**

- d Samenwerken tussen opleidingsinstituten en bedrijven uit de waardeketen dient tot doel te hebben om in beeld te brengen wat er in de komende jaren nodig is aan kwalificaties en hoe het curriculum hier op kan inspelen. Dit totaalbeeld ontbreekt nu.

#### **Maak het makkelijker om in Nederland aan de slag te gaan in waterstofsector**

- e Standaardiseer richtlijnen en opleidingseisen in NW-Europa, bijvoorbeeld met Frankrijk, België en Duitsland. NW-Europese landen kunnen beter samenwerken om het curriculum

van opleidingen beter op elkaar af te laten stemmen waardoor uitwisseling van zowel (geschoold) personeel en schoolverlaters mogelijk is.

#### **Inspelen op regionale verschillen**

- f Een aantal van die industrieclusters bevindt zich in de periferie van Nederland (onder andere Eemshaven, Zeeland en Chemelot). Het aantrekkelijker maken van de woonregio en de daarbij behorende culturele voorzieningen kan als een belangrijk handelingsperspectief worden gezien. Daarnaast is het belangrijk om het arbeidsaanbod in deze regio's zelf te (re)vitaliseren.

#### **Calculeer mogelijke aanbodbeperkingen in beleid en projecten**

- g De overheid moet accepteren dat opleidingen tijd kosten, en dat goed personeel er niet van de een op de andere dag is opgeleid. Hiermee moet rekening worden gehouden bij het stellen en uitvoeren van de doelen.
- h Dit betekent dat ook in de beleidsdoelen en instrumentatie meer rekening moet worden gehouden met de tijd die het opbouwen van capaciteit op de arbeidsmarkt vergt.



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Om een bijdrage te leveren aan de klimaatopgave moet de op fossiele grondstoffen gebaseerde maatschappij en industrie worden omgebouwd. Nederland zet groene waterstof in als trekkkracht voor deze transitie. Om de benodigde transitie te realiseren in het GroenvermogenNL opgezet. Dit is een Groeifondsprogramma dat is ontstaan uit de programmering van drie Topsectoren (Hightech Systemen & Materialen, Chemie, en Energie). Het doel van de organisatie is het ontwikkelen en versnellen van de markt voor groene waterstof en groene chemie in de periode tot 2028. GroenvermogenNL zet zich in op drie pijlers:

1. Opschaling en investeren: de realisatie van waterstofprojecten op serieuze schaal.
2. Research & development: de coördinatie van onderzoek en innovatie.
3. Menselijk kapitaal: de ontwikkeling van een sterke menselijke uitvoeringsbasis.

In het kader van Programmapijler 3 wordt geïnvesteerd in vijf programmalijnen:

1. Kennisgebieden in kaart.
2. Realisatie en opschaling learning communities en mobiliseren regio.
3. Nationaal kennisplatform.
4. Nationaal Pakket van Onderwijsprogramma's waterstof.
5. Innovatie en ontwikkelingsimpuls bedrijfsleven (mkb).

Op verzoek van GroenvermogenNL is Platform Talent voor Technologie (PTvT) verantwoordelijk voor de uitvoering van Programmalijn 1. In dit kader hebben CE Delft en SEO Economisch Onderzoek, in opdracht van PTvT, een arbeidsmarktonderzoek uitgevoerd om de kennisbehoefte rondom (groene) waterstof in beeld te brengen. Dit rapport geeft de uitkomsten van dit onderzoek weer.

## 1.2 Doel van het project

De hoofdvraag van het onderzoek is:

***“Hoe ziet de toekomstige arbeidsvraag op de markt voor groene waterstof eruit?”***

In de uitwerking van deze hoofdvraag is het van belang om zowel het relevante arbeidsaanbod als de relevante arbeidsvraag (in de periode tot en met 2030) in beeld te brengen met daaromheen een aantal scenario's die aanbod en vraag beïnvloeden op te stellen. In Paragraaf 2.3 staan de deelvragen die in dit onderzoek leidend zijn.

## 1.3 Afbakening

Dit onderzoek is als volgt afgebakend:

1. Het onderzoek richt zich op de periode tot 2030.
2. Het onderzoek focust op de vraag naar en het aanbod van arbeid op het gebied van waterstof in Nederland.

## 1.4 Leeswijzer

In **Hoofdstuk 2** beschrijven we de methodologie van het onderzoek. Hierbij staat het stappenplan van dit onderzoek centraal. **Hoofdstuk 3** geeft de resultaten uit de eerste fase van het onderzoek weer, wat zich vooral richt op de scope van het onderzoek. **Hoofdstuk 4** gaat dieper in op de vraagraming en **Hoofdstuk 5** op de aanbodraming. In **Hoofdstuk 6** worden vraag en aanbod met elkaar verbonden en presenteren we handelingsperspectieven om knelpunten op het gebied van kwalitatieve en kwantitatieve tekorten weg te nemen. **Hoofdstuk 7** geeft de conclusies en aanbevelingen van het onderzoek weer.

Tabel 1 geeft de deelvragen van dit onderzoek weer en tevens waar deze vragen in het rapport wordt beantwoord.

Tabel 1 - Waar wordt welke onderzoeksvraag beantwoord?

Onderzoeksvraag	Beantwoord in:
Wat kunnen we leren van wat er in het buitenland gebeurt?	Paragraaf 3.2
Zijn er marktontwikkelingen uit het verleden in andere sectoren waar inzichten aan ontleend kunnen worden? Welke parallellen zijn te trekken?	Paragraaf 3.4
Hoe ziet de groene/CO <sub>2</sub> -arme waterstofketen eruit in Nederland? – Welke sectoren en toepassingsgebieden zijn te identificeren? – Wat gebeurt waar? – Hoe volwassen zijn deze ketens? – Wat is de huidige omvang?	Paragraaf 3.5
Welke bedrijven zijn/worden voor de waterstoftransitie relevant? Welke bedrijven zijn betrokken op verschillende plekken in de keten? Wanneer de waterstofketens zich verder ontwikkelen welke bedrijven zijn hiervoor nodig?	Paragraaf 3.5
Welke scenario's kunnen worden gebruikt om de verwachte toekomstige scope in kaart te brengen?	Paragraaf 3.6
Wat is de verwachte toekomstige arbeidsvraag? Om welke beroepen gaat het en wat voor kennis en welke skills zijn nodig?	Hoofdstuk 4
Hoe kijken betrokken actoren naar de toekomstige arbeidsvraag?	Paragraaf 6.3
Wat is de verwachte toekomstige arbeidsaanbod?	Hoofdstuk 5
Welke kennis met betrekking tot waterstof is nodig en al in ontwikkeling? – Welke kennis met betrekking tot waterstof is vervolgens binnen een specifiek kennisgebied van belang? – Rondom welke innovatieve thema's en op welke plekken in de ketens zijn PPS'en actief? – Waar zijn lectoren en praktoren betrokken bij onderzoek rondom groene waterstof? – Waar zijn geen LC's actief?	Hoofdstuk 6.3 en 6.4

## 2 Methodologie

### 2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de methodologie van het onderzoek beschreven. Allereerst wordt het Plan van aanpak gepresenteerd, gevolgd door een toelichting van de twee fasen en de bijbehorende methodieken.

### 2.2 Plan van aanpak

Figuur 1 geeft het Plan van aanpak weer. Hierbij is het onderzoek gesplitst in Fase 1 (voorverkenning) en Fase 2 (kwantitatief en kwalitatief onderzoek). Deze fasen worden in Paragraaf 2.3 en 2.4 verder toegelicht.

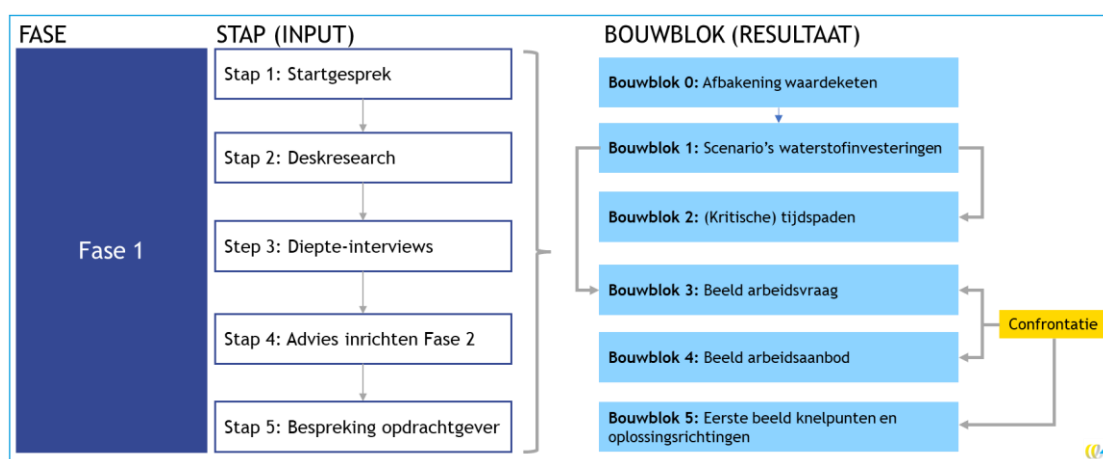
Figuur 1 - Plan van aanpak

FASE	STAP	ACTIVITEITEN	RESULTAAT
1 Voorverkenning	1 Startgesprek	Overleg opdrachtnemer, opdrachtgever en BGcie	Lijst met actiepunten voor opdrachtnemer en opdrachtgever voor Fase 1
	2 Deskresearch	Analyse beschikbare literatuur (evaluaties, academisch, data)	Overzicht beschikbare informatie
	3 Diepte-interviews	Afnemen van interviews	Inzicht in ontwikkelingen op verschillende plekken in de keten en verschillende toepassingsgebieden
	4 Advies inrichten Fase 2	Samenbrengen onderzoeksresultaten uit meerdere methodieken en voorstel voor Fase 2	Tussenrapportage
	5 Bespreking opdrachtgever	Overleg opdrachtnemer, opdrachtgever en BGcie	Lijst met actiepunten voor opdrachtnemer en opdrachtgever voor Fase 2
2 Kwantitatief en kwalitatief onderzoek	6 Vraagvorming	Kwantitatief en kwalitatief onderzoek naar de vraag naar arbeid	Inzicht in de benodigde kwalificaties, opleidingsniveaus en beroepen (vraagkant)
	7 Aanbodvorming	Kwantitatief en kwalitatief onderzoek naar het aanbod van arbeid	Inzicht in de beschikbare kwalificaties, opleidingsniveaus en beroepen (aanbod)
	8 Toetsing en matching vraag en aanbod	Samenbrengen onderzoeksresultaten	Concepteindrapport + dashboard
	9 Handelingsperspectieven werkgevers en opleidingscentra	Inzicht geven in zowel de toekomstige arbeidsvraag als arbeidsaanbod op de markt voor groene waterstof en bijbehorende handelingsperspectieven	Eindrapport + dashboard

## 2.2.1 Fase 1: Voorverkenning

Fase 1 richt zich op verschillende bouwblokken van de voorverkenning (zie Figuur 2). Deze voorverkenning betreft de afbakening van het kwantitatieve onderzoek naar het (huidige en toekomstige) arbeidsaanbod en de arbeidsvraag die aan de waterstoftransitie gerelateerd is. Daarbij gaan we dieper in op de afbakening van de sector of waardeketen, de te hanteren scenario's voor toekomstige investeringen in waterstofeconomie (inclusief tijdspaden) en daarmee de vraag naar waterstofbanen, maar ook de indeling die we gebruiken voor de vraag en het aanbod van deze banen.

Figuur 2 - Fase 1 en bijbehorende bouwblokken



## 2.2.2 Fase 2: Kwantitatief en kwalitatief onderzoek

De bouwblokken van Fase 1 vormen het uitgangspunt voor de raming van de arbeidsvraag en het arbeidsaanbod van de waterstoftransitie. De vraag- en aanbodraming komen via verschillende modellen tot stand. De vraagraming maakt gebruik van een groeiende waterstofketen en de aanbodraming van het potentiële aanbod door scholing, zijinstroom en migratie. Deze kwantitatieve ramingen worden verrijkt met kwalitatieve inzichten uit de voorverkenning in Fase 1 en met de initiatieven die op dit moment lopen of in ontwikkeling zijn, zoals learning communities en regionale initiatieven.

De ramingen worden met elkaar geconfronteerd om knelpunten op de arbeidsmarkt kwantitatief inzichtelijk te maken en te analyseren in hoeverre belemmeringen van vraag of aanbod (of allebei) bijdragen aan mogelijke knelpunten. Vervolgens wordt gekeken naar mogelijke handelingsperspectieven.

## 2.3 Methodiek in vogelvlucht

In dit onderzoek maken we gebruik van verschillende methodieken om de hoofd- en deelvragen te beantwoorden. Tabel 2 geeft de onderzoeksvragen in relatie tot de methoden weer.

Tabel 2 - Gebruikte methodiek per onderzoeksvraag

Onderzoeksvraag	Deskresearch	Landen- onderzoek	Historisch onderzoek	Interviews	Werkgelegenheids- model	CBS-microdata
Wat kunnen we leren van wat er in het buitenland gebeurt?		X				
Zijn er marktontwikkelingen uit het verleden in andere sectoren waar inzichten aan ontleend kunnen worden? Welke parallellen zijn te trekken?			X	X		
Hoe ziet de groene/CO <sub>2</sub> -arme waterstofketen eruit in Nederland? – Welke sectoren en toepassingsgebieden zijn te identificeren? – Wat gebeurt er waar? – Hoe volwassen zijn deze ketens? – Wat is de huidige omvang?	X			X		
Bedrijven: – Welke bedrijven zijn/worden voor de waterstoftransitie relevant? – Welke (type) bedrijven zijn betrokken op verschillende plekken in de keten? – Wanneer de waterstofketens zich verder ontwikkelen welke bedrijven zijn hiervoor nodig? – Welke mkb-bedrijven? – Wat zijn de kenmerken van deze bedrijven?	X			X		
Welke scenario's kunnen gebruikt worden om de verwachte toekomstige scope in kaart te brengen?	X					
Wat is de verwachte toekomstige arbeidsvraag? – Hoe kijken betrokken actoren naar de toekomstige arbeidsvraag? – Om welke beroepen gaat het en wat voor kennis en welke skills zijn nodig?	X			X	X	
Wat is de verwachte toekomstige bruto arbeidsaanbod?				X		X
– Welke kennis met betrekking tot waterstof is nodig en al in ontwikkeling? – Welke kennis met betrekking tot waterstof is vervolgens binnen een specifiek kennisgebied van belang?	X			X	X	X

Onderzoeksvraag	Deskresearch	Landen- onderzoek	Historisch onderzoek	Interviews	Werkgelegenheids- model	CBS-microdata
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rondom welke innovatieve thema's en op welke plekken in de ketens zijn PPS'en actief?</li> <li>- Waar zijn lectoren en praktoren betrokken bij onderzoek rondom groene waterstof?</li> </ul>						

## 2.4 Methodiek

### 2.4.1 Deskresearch

Bij de deskresearch staat het in kaart brengen van de (fysieke) rol van waterstof in de energiemix, de bijbehorende investeringen in assets inclusief (kritische) tijdspaden (inclusief onzekerheden) en de regionale verdeling die daarbij hoort centraal. Een deel van de waterstofinvesteringen zal een vrij zeker karakter hebben aangezien zij afgedwongen worden door bindende (lidstaat)verplichtingen:

- Doordat de herziening van de REDII (onderdeel van de Europese Green Deal) een lidstaatverplichting van groene waterstof in de industrie bevat, beoogt het Kabinet een afnameverplichting in te voeren voor groene waterstof in de industrie vanaf 2026. Uit de REDIII volgt dat van alle (grijze) waterstof die de industrie in 2030 gebruikt (enkele toepassingen zijn uitgezonderd), 42% met hernieuwbare energie geproduceerd moet zijn. In 2035 dient dit aandeel 60% te zijn.
- De REDIII bevat ook een doelstelling van 1% RFNBOs (groene waterstof of e-fuels) in de transportsector in 2030.
- ReFuelEU Aviation bevat ook een doelstelling voor synthetische brandstoffen in de luchtvaart voor 2030 (0,7%).

Het doel van de deskresearch is om te komen tot een systematisch beeld van de waterstofketen in Nederland, de transitiemogelijkheden en de knelpunten die bestaan of in de toekomst kunnen gaan ontstaan. Hierbij ligt de focus op de arbeidsmarktknelpunten aan de vraag- en aanbodkant van de arbeidsmarkt.

### 2.4.2 Landenonderzoek

In het landenonderzoek vergelijken we een drietal landen (Duitsland, België en Frankrijk) met Nederland. Het vergelijkend landenonderzoek is een aanvulling op het systemische beeld van de waterstofketen en geeft aan (i) op welke punten Nederland voor- of achterloopt op andere landen en andere doelen nastreeft, (ii) welke additionele instrumenten kunnen worden benut, en (iii) welke specifieke knelpunten, problemen en uitdagingen Nederland kent op de arbeidsmarkt en welke scenario's (en onzekerheden) hierbij van belang zijn.

Onderdelen in het vergelijkend landenonderzoek zijn:

- **De rol van waterstof:** vergelijking van ontwikkelingen op het terrein van technologie, bronnen en toepassingen van groene waterstof en de omvang van de sector.
- **Budgetten:** vergelijking van beschikbare budgetten om te innoveren en de wijze waarop met financiële prikkels en risico's wordt omgegaan.
- **Human Capital Agenda:** inschatting van het potentieel van groene waterstof, de (mogelijke) knelpunten op de arbeidsmarkt (aard en omvang) en de strategie en scenario's om arbeidsvraag en -aanbod op elkaar te laten aansluiten (korte en lange termijn), met nadruk op nieuwe beroepen en competenties en complementaire beroepen en competenties.

### 2.4.3 Historisch onderzoek

Naast een landenonderzoek voeren we ook een historisch onderzoek uit. Het vergelijkend historisch onderzoek is een aanvulling op het systemische beeld van de waterstofketen en het landenonderzoek. Het geeft een beeld van (i) waar we staan in de ontwikkeling (en wat dat voor arbeidsvraag en -aanbod betekent), en (ii) wat de verwachting is van de

ontwikkeling van vraag en aanbod op de arbeidsmarkt in de komende periode (inclusief de scenario's en onzekerheden van deze ontwikkeling). Drie historische casussen geven een beeld van snelheid waarmee de technologische innovaties hun weg vinden naar de samenleving, maar met name ook hoe de arbeidsmarkttransitie vlot en zonder haperingen kan inspelen op *de snel veranderende vraag* naar arbeidsmarktkwalificaties.

Belangrijke onderdelen in het vergelijkend historisch onderzoek zijn:

- Drie vergelijkbare, recente technologische revoluties:
  1. Gasloos bouwen.
  2. Glasvezelnetwerken.
  3. Wind op zee.
- Vergelijking van ontwikkelingen op het terrein van de technologie zelf, de bronnen/inputs die beschikbaar moeten komen en toepassingen die zijn gekozen om een positieve businesscase te behalen.
- Vergelijking van beschikbare budgetten om te innoveren en de wijze waarop met financiële prikkels en risico's wordt omgegaan.
- De knelpunten op de arbeidsmarkt (aard en omvang) die zijn/worden ervaren en de strategie om arbeidsvraag en -aanbod op elkaar te laten aansluiten.

#### 2.4.4 Interviews

In dit onderzoek zijn vijftien diepte-interviews met betrokken actoren afgenomen. Hierbij staat de vraag *“hoe kijken betrokken actoren naar de toekomstige arbeidsvraag en arbeidsaanbod?”* centraal. Het doel van de interviews is om inzicht te krijgen in ontwikkelingen op verschillende plekken in de ketens en de verschillende toepassingsgebieden. De interviews zijn daarmee een verdieping van de deskresearch en het vergelijkend onderzoek door op verschillende plekken in het systeem (de keten) kennis op te halen en het ontstane beeld te toetsen.

Gespreksonderwerpen die aan bod komen zijn:

**1. Doel, investeringen en verwachtingen:**

- Welke kennis is nodig om het maatschappelijke doel van duurzame energieopwekking te behalen en op welke termijn is die kennis beschikbaar?
- Welke arbeidsmarktproblemen bestaan er aan zowel de vraag- als aanbodkant?
- Welke nieuwe beroepen en competenties zijn nodig om de transitie naar duurzame energieopwekking (en specifiek een effectieve en efficiënte waterstofketen) te bewerkstelligen? Hoeveel zijn er dat en op welk niveau? Op welke termijn is dat mogelijk?
- Aan welke kennis en kunde ontbreekt het op dit moment om de transitie naar duurzame energieopwekking (en specifiek een effectieve en efficiënte waterstofketen) te kunnen uitvoeren? Hoe groot is het probleem?

**2. Knelpunten:**

- Welke arbeidsmarktknelpunten bestaan en zullen ontstaan (aard en omvang)? Hoe groot zijn deze knelpunten als het gaat om het ontwikkelen van de waterstofketen?
- Welke onzekerheden zijn het belangrijkste? Bijvoorbeeld concurrentie op de arbeidsmarkt door uitbreidingsvraag en vervangingsvraag (vergrijzing), onderscheid tussen structurele vraag en transitievraag en de verschillen in competenties (niveau, complementaire vaardigheden, etc.) tussen deze vraagvormen en de inzet van nieuwe technologie die leidt tot nieuwe samenwerking tussen mens en machine.

**3. Instrumenten:**

- Wat zijn effectieve en efficiënte interventies om de waterstofketen te ontwikkelen en onzekerheden weg te nemen? Denk hierbij aan temporiseren van investeringen, aanpassen van het onderwijsaanbod en prikkels in het onderwijs, stimuleren van arbeidsaanbod (opleiden, in- en doorstroom, migratie,



niveau van onderwijs) en de rol van innovatieve leergemeenschappen en het aanbod en de aanpassing daarvan door zowel publieke als private opleiders.

De interviews zijn afgenomen bij opleidingsinstituten, bedrijven en werknemersorganisaties. Bij de bedrijven hebben we onderscheid gemaakt naar de plek in de keten (up-, mid- en downstream). Voor het houden van interviews is de volgende werkwijze aangehouden:

1. Voor elk type actoren wordt een gespreksleidraad opgesteld voor de gesprekspartner. Dit bevat een toelichting op het onderzoek en de te bespreken onderwerpen en vragen.
2. Van het interview wordt een verslag opgesteld, dat ter accordering binnen één week na het interview wordt voorgelegd aan de gesprekspartner.
3. Het gespreksverslag wordt gebruikt als input voor de rapportage.

## 2.4.5 Werkgelegenheidsmodel

Om te kijken naar de omvang van de toekomstige arbeidsvraag en verdeling naar benodigde kwalificaties en beroepen en competenties maken we gebruik van een intern werkgelegenheidsmodel van CE Delft. Dit model geeft de directe (bruto) vraag naar arbeid weer als gevolg van investeringen in duurzame energie. Het model bestaat uit verschillende modules, waaronder de waterstof-, zon- en windenergieketen en energiebesparingsmogelijkheden en richt zich op de gehele keten (zie het volgende kader). Schattingen zijn gebaseerd op de huidige en toekomstige arbeidsproductiviteit, waarbij een inschatting is welke arbeidsproductiviteitsstijging in de keten mogelijk is bij opschaling van technieken (naar verwachting ongeveer 4% per jaar bij hernieuwbare energie en 0,5% per jaar bij infrastructuur (ECN, 2016).

Opschaling van productiecapaciteit en afnamecapaciteit in waterstof assets zal de totale kosten per kilogram waterstof naar beneden brengen en ook gevolgen hebben voor arbeidsinzet<sup>1</sup>. Binnen dit onderzoek hebben we een regionale module toegevoegd.

### De verschillende fasen van de keten

De directe vraag naar arbeid van investeringen kan onderverdeeld worden in vier verschillende fasen: onderzoek & ontwikkeling, productie, transport & installatie en de exploitatie & onderhoud.



Binnen de vraag naar arbeid maken we onderscheid tussen permanente en tijdelijke banen. De eerste drie fasen vinden eenmalig plaats bij één product en vallen daarom onder de tijdelijke werkgelegenheid.

De structurele werkgelegenheid, de exploitatie & onderhoudsfase, is permanent en nodig totdat het product is afgeschreven. Het gros van de ingeschatte banen betreft tijdelijke banen.

<sup>1</sup> Om een kostenreductie te realiseren, is opschaling van groene waterstofproductie nodig. Hierbij moet gedacht worden aan van enkele MW nu naar GW schaal in 2030. Overigens kan er ook een hogere elektrolyse efficiency worden gerealiseerd.

## Inzicht in arbeidskwalificaties

Het model bevat een kwalificatiemodule die op de waardeketen van de verschillende technieken kan worden toegepast. Deze module geeft inzicht in de arbeidsmarkt-kwalificaties (beroepen) en de verdeling van het opleidingsniveau voor elke fase in de waardeketen. Deze module maakt het mogelijk om een doorrekening te doen van investeringen in waterstof en geeft de directe arbeidsvraag per beroepsgroep en opleidingsniveau voor elke fase in de waardeketen als gevolg van deze investering weer. Op basis van deze inzichten kan de vraag naar onder andere monteurs, IT'ers, data-scientists, business developers en juridisch specialisten in beeld worden gebracht. In Bijlage C staat een uitgebreide toelichting van de gebruikte methodiek van het model.

### 2.4.6 CBS-microdata

Om een beeld te krijgen van de omvang van het arbeidsaanbod dat qua relevante opleidingskenmerken in kan stromen in waterstof-gerelateerde sectoren maken we gebruik van CBS-microdata. Daarbij kijken we naar vier groepen:

1. De totale werkgelegenheid.
2. Instroom vanuit opleidingen.
3. Instromen vanuit andere sectoren (zijinstromers).
4. Instroom vanuit arbeidsmigratie.

In Paragraaf 5.1 geven we een uitgebreidere uitleg.

# 3 Resultaten Fase 1

## 3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft de resultaten van Fase 1 weer. Hierbij kijken we naar het landenonderzoek, vergelijkend onderzoek en de afbakening voor de vraag- en aanbodramingen. Dit hoofdstuk geeft antwoord op de vragen:

- Wat kunnen we leren van wat er in het buitenland gebeurt? (Paragraaf 3.2).
- Zijn er marktontwikkelingen uit het verleden in andere sectoren waar inzichten aan ontleend kunnen worden? Welke parallellen zijn te trekken? (Paragraaf 3.4).
- Hoe zien de groene/CO<sub>2</sub>-arme waterstofketens eruit in Nederland? (Paragraaf 3.5).
- Welke (type) bedrijven zijn betrokken op verschillende plekken in de keten? (Paragraaf 3.4).
- Welke scenario's kunnen gebruikt worden om de verwachte toekomstige scope in kaart te brengen? (Paragraaf 3.6).

## 3.2 Landenonderzoek

Deze paragraaf geeft antwoord op de vraag: “*Wat kunnen we leren van wat er in het buitenland gebeurt?*”. Om deze vraag te beantwoorden kijken we naar de ontwikkelingen in België, Duitsland en Frankrijk op het gebied van waterstof en de bijbehorende arbeidsmarkt. In Bijlage A zijn factsheets van de drie landen opgenomen waarbij dieper wordt ingegaan op de doelen, beleidsinstrumenten, potentiële sectoren, knelpunten en oplossingen op de arbeidsmarkt.

### 3.2.1 Duitsland

#### Doelen en ambities

Het voornaamste doel is om met de inzet van waterstof bij te dragen aan de CO<sub>2</sub>-reductie en klimaatneutraliteit. Daarvoor is het nodig om waterstof in prijs en toepassing concurrerend te maken, een thuismarkt te creëren en import te faciliteren. Voor 2030 voorziet de Duitse regering 5 GW aan waterstofgenererende fabrieken (dit staat gelijk aan 14 TWh<sup>2</sup> waterstofproductie en 20 TWh duurzame stroom). In 2040 moet een additionele capaciteit van 5 GW zijn gerealiseerd. Met 38 maatregelen omschrijft de Duitse waterstofstrategie het ontstaan van een nationale en internationale waterstofmarkt in 2030. De maatregelen beginnen met het vaststellen van een goede basis, zoals het gebruik van hernieuwbare energie en een CO<sub>2</sub>-prijs. Vervolgens gaan de maatregelen op toepassingsgebieden in. Ook wordt brede aandacht besteed aan onderzoek, onderwijs en internationale handel- en samenwerking.

---

<sup>2</sup> Uitgangspunt: 4.000 vollasturen en een gemiddeld rendement van de elektrolyse-installaties van 70%.

## Potentiële sectoren

Duitsland wil waterstof inzetten als energiedrager en als grondstof in de industrie. Toepassingsgebieden zijn de industrie, verkeer (lucht-, binnen- en scheepvaart), warmte en infrastructuur. Vooral in de industrie is er een grote vraag naar waterstof<sup>3</sup>: Tot 2050 is er 80 TWh duurzame waterstof nodig om de Duitse staalindustrie te verduurzamen en 22 TWh om de Duitse raffinaderij- en ammoniakproductie te verduurzamen.

## Beleidsinstrumenten en nationale initiatieven

Door de Nationale Waterstof Strategie is € 7 miljard voor de bevordering van waterstof-technologieën en € 2 miljard voor internationale verbanden voor waterstof beschikbaar gesteld. Er bestaan minstens vijftien subsidies ter bevordering van duurzame energie (waaronder waterstof). Het project H2 Global bevordert met € 900 miljoen vraag en aanbod van groene waterstof en PtX. Het project bestaat uit een tijdelijke compensatie van verschil tussen inkoop- en verkoopprijs voor groene waterstof en PtX-producten van projecten met een minimale omvang van 100 MW elektrolyse. Het National Innovation Programme Hydrogen and Fuel Cell Technology (NIP) ondersteunt R&D en innovaties in de mobiliteit. Momenteel heeft Duitsland een groot aandeel in de bestaande IPCEI-projecten om technologieën en systemen voor een Europese waterstofwaardeketen te ontwikkelen. Verder worden internationale innovatieve projecten ondersteund, die zonder subsidie niet rendabel zouden zijn. Daarnaast telt Duitsland 62 IPCEI-projecten (Important Projects of common European interest) met een financiële ondersteuning van € 8 miljard. De financiering hiervoor komt mede uit het DARP (Deutscher Aufbau und Resilienzplan). Verder bestaan er (met € 740 miljoen) gefinancierde waterstofonderzoeksprojecten op het terrein van waterstof met windenergie, vloeibare waterstof en een productielijn van waterelektrolyzers.

## Arbeidsmarkt

In de nationale waterstofstrategie wordt minder aandacht besteed aan de arbeidsmarkt. Wel zijn de verwachtingen dat veel nieuwe banen gecreëerd worden. Het Bundesinstitut für Berufsbildung schat vooral positieve effecten in de machinebouwsector (Bundesinstitut für Berufsbildung 2023). Er komen meer nieuwe banen bij dan dat er banen verdwijnen. Desondanks toont een studie van PwC (2022) Aan dat meer dan 40% van de vraag naar monteurs, installateurs en ingenieurs voor de energietransitie in 2035 niet gedekt kan worden. Er zal meer concurrentie om arbeidskrachten tussen sectoren in duurzame industrieën ontstaan in de toekomst. Er zijn in Duitsland structureel zwakke regio's waar het moeilijker is om arbeidsaanbod te creëren, wat ook weer kansen biedt als de arbeidsvraag sterk aantrekt.

---

<sup>3</sup> In het grijze waterstofgebruik is Duitsland in de EU de koploper, gevolgd door Nederland.

### 3.2.2 België

## 3.3 Doelen en ambities

België richt zich in de nationale waterstofstrategie vooral op de in- en doorvoer van waterstof in West-Europa. Vanwege het beperkte lokale potentieel voor hernieuwbare energie is de bijdrage aan de Europese doelen omtrent elektrolysecapaciteit beperkt. Er wordt ingezet op een invoer van 20 TWh in 2030 en tussen 200 en 350 TWh in 2050 om te voorzien in de binnenlandse vraag (125-200 TWh/jaar (incl. bunkerbrandstoffen) en voor doorvoer in West-Europa.

### Potentiële sectoren

België wil waterstof inzetten in vier sectoren, waarbij de nadruk in eerste instantie ligt op de eerste twee: Industrie (farmaceutische-, chemische-, voedings- en drankenindustrie en metallurgie en vervaardiging van producten van metaal), transport (lucht-, binnen- en scheepvaart), elektriciteitssector en gebouwde omgeving.

### Beleidsinstrumenten en nationale initiatieven

In de nationale waterstofstrategie worden een drietal federale subsidies genoemd die een bijdrage leveren aan de waterstoftransitie. Deze subsidies hebben gezamenlijk een budget van € 40-50 miljoen per jaar (in 2023). Daarnaast worden innoverende activiteiten ondersteund door aanpassing van subsidies, belastingen en accijnzen.

Op nationaal niveau is er een aantal samenwerkings- en kennisplatforms omtrent waterstof opgericht. Hierbij wordt vooral ingezet op het delen van kennis, krachten bundelen en het in kaart brengen van financiële, technische en regelgevende aspecten. Verder wordt ingezet op samenwerking, op zowel gewestelijk, federaal en internationaal niveau.

### Arbeidsmarkt

Op federaal niveau wordt weinig aandacht besteed aan de arbeidsmarkttransities. Een van de redenen is dat dit een taak is voor de gewesten. Er wordt gesteld dat de toepassing en uitrol van de waterstoftechnologie om nieuwe kennis en vaardigheden op de arbeidsmarkt vraagt, maar er wordt geen concrete invulling aan gegeven op federaal niveau. Dit is wel het geval bij de Vlaamse overheid. Het departement Werk & Sociale Economie (WSE) heeft een roadmap opgesteld voor de Vlaamse klimaattransitie waarbij er vooral wordt gekeken naar de energie-intensieve industrie. Hierin wordt gesteld dat er uitdagingen zijn omtrent het aanbod en de ontwikkeling van werknemers. In deze roadmap worden echter geen concrete doelen genoemd waar het gaat om aantallen werkenden. De roadmap gaat dieper in op het in beeld brengen van de knelpunten en mogelijke oplossingen, zoals een centraal kennisplatform, het inzetten op concrete samenwerking tussen onderwijsinstellingen en bedrijfsleven, een sectorbrandingcampagne en een cross-sectoraal opleidingsplatform.

### 3.3.1 Frankrijk

#### Doelen en ambities

In de nationale waterstofstrategie stelt Frankrijk het doel een koolstofvrije industrie te realiseren door in te zetten op een Franse elektrolyse-industrie. Het doel is om tegen 2030 6,5 GW aan elektrolyzers te installeren<sup>4</sup>. Verder wordt ingezet op het ontwikkelen van transport met waterstof. Ook wordt onderzoek, innovatie en de ontwikkeling van vaardigheden ondersteund om waterstofontwikkelingen toepasbaar te maken. Hierbij wordt ingezet op de opleiding van werkenden in het toepassen van waterstof in energienetwerken, nieuwe toepassingen in de industrie, mobiliteit en waterstofinfrastructuur.

#### Potentiële sectoren

Frankrijk wil waterstof vooral inzetten in de industrie en in de mobiliteitssector. In de industrie wordt waterstof gebruikt als vervanging van steenkool en aardgas bij industriële processen, bijvoorbeeld in de staalindustrie, chemische industrie, raffinage en de productie van synthetische brandstoffen. In 2020 heeft de Franse industrie een finale consumptie van steenkool en aardgas van respectievelijk 32,9 PJ en 463 PJ. In de transportsector wordt waterstof vooral gezien als een geschikte oplossing voor zware voertuigen.

#### Beleidsinstrumenten en nationale initiatieven

Om de doelen in de nationale waterstofstrategie te behalen heeft Frankrijk een budget van € 7 miljard tot 2030 beschikbaar gesteld. Daarnaast zijn er verschillende subsidies die zich richten op waterstofontwikkeling. Deze budgetten (variërend van miljoenen tot miljarden) zijn aanvullend op het budget dat beschikbaar is gesteld vanuit de nationale waterstofstrategie.

Om de doelen te behalen heeft de Franse overheid afgelopen jaren via verschillende programma's, samenwerkingsverbanden en organisaties steun verleend aan de waterstofsector. Ook is er een aantal nationale initiatieven die zich richten op de ontwikkeling van waterstof.

#### Arbeidsmarkt

Frankrijk besteedt veel aandacht aan de arbeidsmarkt van de waterstoftransitie. Er wordt gesteld dat de grootste uitdaging is om mensen op te leiden op het gebied van de specifieke toepassingen van waterstofgas, de componenten en procedures. Er wordt daarom gekeken hoe dit vakgebied in het onderwijs ondersteund kan worden. Er zijn een aantal programma's opgezet die zich richten op onderwijs en opleiding in relatie tot waterstof. Deze programma's worden uitgevoerd in samenwerking met onderwijsinstellingen, onderzoekscentra en industriële partners. De Franse overheid speelt vooral een sleutelrol bij de coördinatie en financiering van deze initiatieven. Het is onduidelijk hoeveel opleidingsplekken hiermee worden beoogd:

- Programme prioritaire de recherche (ondersteunen onderzoek, € 65 miljoen).
- Programme Hydrogène et mobilité (professionals in de mobiliteitssector opleiden in waterstoftechnologieën).

<sup>4</sup> In Frankrijk wordt waterstof geproduceerd met behulp van kernenergie ook als groene waterstof gezien.

- Programma Hydrogène et énergies renouvelables (programma voor opleiding van werknemers op het gebied van de productie van waterstof uit hernieuwbare energiebronnen).
- Programma Hydrogène et bâtiment (programma voor opleiding van vakmensen in de bouwsector op het gebied van waterstoftoepassingen, zoals verwarming en elektriciteitsproductie).

### 3.3.2 Conclusie landenonderzoek

Tabel 3 geeft de belangrijkste overeenkomsten en verschillen voor Nederland weer met Duitsland, België en Frankrijk. De belangrijkste conclusies zijn:

- Om de Europese doelen te halen zetten de onderzochte lidstaten nu en in de komende jaren actief in op de ontwikkeling en toepassing van waterstof. Er zijn omvangrijke investeringen voorzien en financieringsprogramma's en subsidies worden ingezet voor de ontwikkeling en toepassing van schone energiedragers, zoals waterstof. Iedere lidstaat vliegt de waterstoftransitie op een eigen manier aan. De verschillen in doelen leiden er ook toe dat er verschillende beleidsinstrumenten en samenwerkingen worden opgezet.
- Er bestaan verschillen tussen de doelen en ambities van de verschillende landen. Waar Duitsland en Frankrijk actief inzetten op het opbouwen van eigen productiecapaciteit (inzet van elektrolyzers), zet België vooral in op de in- en doorvoer van waterstof. Nederland heeft een productiedoel van 3 tot 4 GW in 2030 en laat zich dus meer vergelijken met Duitsland en Frankrijk. Duitsland kent met 10 GW een veel hogere taakstelling. Waar het gaat om de productie en toepassing van waterstof en om mogelijk te profiteren van schaalvoordelen lijkt het voor Nederland daarom effectief aan te sluiten en te leren van ontwikkelingen in Frankrijk en Duitsland.
- Over het algemeen zien alle landen, inclusief Nederland, de industrie- en transportsector als belangrijke sector waar (groene) waterstof ingezet gaat worden. Dat sluit aan bij de ontwikkeling in deze sectoren, omdat er nu reeds (grijze) waterstofgebruikers zijn. Er wordt nadruk gelegd op vergroening van energiedragers en nieuwe toepassingen. België kijkt ook naar de elektriciteitssector en de gebouwde omgeving en Duitsland naar warmte en infrastructuur. Het lijkt effectief om deze twee laatste toepassingen in Nederland ook te onderzoeken en beoordelen op kansrijkheid.
- Alle drie de landen geven aan dat er knelpunten op de arbeidsmarkt kunnen ontstaan. Het verschilt echter per land hoe concreet deze knelpunten in beeld worden gebracht en wat de omvang ervan is op korte en langere termijn. Frankrijk loopt op dit gebied voorop en geeft aan in welke beroepen en beroepsgroepen mogelijk krapte optreedt. België en Duitsland zijn minder concreet. Algemene knelpunten bestaan uit krapte op de markt voor technisch geschoolden, krapte in het opleiding van nieuwe werknemers (door een lerarentekort) en onvoldoende potentieel dat kan worden aangeboord in structureel zwakkere arbeidsregio's. De eerste twee lijken voor Nederland ook te gelden, structureel zwakkere arbeidsregio's kent Nederland ook maar niet in de mate waarin daarvan sprake is in België, Duitsland en Frankrijk.
- Ook op het gebied van het oplossen van knelpunten loopt Frankrijk voorop. Frankrijk heeft verschillende programma's ontwikkeld waarbij een koppeling wordt gemaakt tussen opleidingen en verschillende sectoren waarin waterstof toegepast wordt. België en Duitsland hebben op dit moment geen concrete arbeidsmarktstrategie.
- Naast concrete programma's om opleidingen en sectoren aan elkaar te koppelen worden een aantal algemene interventies genoemd om voldoende gekwalificeerd arbeidsaanbod te creëren. Voorbeelden zijn het opzetten van onderzoeksinstituten en competentiecentra, cross-sectorale opleidingsplatformen en samenwerking met (buitenlandse) kennis- en onderwijs instituten. Een Europese strategie (om schaalvoordelen te creëren en arbeidsmarkt knelpunten te inventariseren en op te lossen) is niet of nauwelijks aanwijsbaar.

Tabel 3 - Overeenkomsten en verschillen waterstoftransitie Nederland, Duitsland, België en Frankrijk

	Nederland	Duitsland	België	Frankrijk
Hoofddoel	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Klimaatakkoord: productie opschalen door elektrolyse</li> <li>– Circa 500 MW geïnstalleerd vermogen in 2025 en 3-4 GW elektrolysecapaciteit in 2030</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Productie opschalen naar 5 GW aan waterstof genererende fabrieken in 2030 (14 TWh waterstofproductie, 20 TWh duurzame stroom)</li> <li>– 5 GW additionele capaciteit in 2040</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Inzet op in- en doorvoer van waterstof in West-Europa</li> <li>– Invoer van 20 TWh in 2030 en tussen 200-350 TWh in 2050 waarbij de helft beschikbaar is voor doorvoer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Inzet op een Franse elektrolyse-industrie door middel van investeringen in eigen productiemiddelen en fabrieken</li> <li>– 6,5 GW elektrolyzers tegen 2030</li> </ul>
Finale energieverbruik per sector in 2021 <sup>5</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Industrie: 554 PJ</li> <li>– Transport: 384 PJ</li> <li>– Commerciële en publieke dienstverlening: 275 PJ</li> <li>– Huishoudens: 424 PJ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Industrie: 2.339 PJ</li> <li>– Transport: 2.190 PJ</li> <li>– Commerciële en publieke dienstverlening: 1.204 PJ</li> <li>– Huishoudens: 2.461 PJ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Industrie: 443 PJ</li> <li>– Transport: 357 PJ</li> <li>– Commerciële en publieke dienstverlening: 190 PJ</li> <li>– Huishoudens: 360 PJ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Industrie: 1.140 PJ</li> <li>– Transport: 1.788 PJ</li> <li>– Commerciële en publieke dienstverlening: 918 PJ</li> <li>– Huishoudens: 1.767 PJ</li> </ul>
Totale overheidsuitgaven en waterstofbudget <sup>6</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Totale overheidsuitgaven in 2022: 417 miljard</li> <li>– Totaal budget voor waterstof: € 1,75 miljard</li> <li>– Totaal aandeel waterstofbudget ten opzichte van overheidsuitgaven: 0,4%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Totale overheidsuitgaven in 2022: 1.922 miljard</li> <li>– Totaal budget voor waterstof: ruim € 11,3 miljard</li> <li>– Totaal aandeel waterstofbudget ten opzichte van overheidsuitgaven: 0,6%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Totale overheidsuitgaven in 2022: 294 miljard</li> <li>– Totaal budget voor waterstof: € 40-50 miljoen</li> <li>– Totaal aandeel waterstofbudget ten opzichte van overheidsuitgaven: 0,01%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Totale overheidsuitgaven in 2022: 1.536 miljard</li> <li>– Totaal budget voor waterstof: ruim € 9,1 miljard</li> <li>– Totaal aandeel waterstofbudget ten opzichte van overheidsuitgaven: 0,6%</li> </ul>
Waterstofbudgetten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– IPCEI Waterstof: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Doel: Projecten voor hernieuwbare waterstof (productie, gebruik, import, opslag, transport en maakindustrie)</li> <li>• Budget: € 1,6 miljard</li> <li>• Doelgroep: Bedrijven en onderzoeksorganisaties</li> </ul> </li> <li>– Nationaal Groeifonds:</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Nationale Waterstof Strategie (€ 7 miljard ter bevordering van waterstoftechnologieën en € 2 miljard voor internationale verbanden)</li> <li>– IPCEI Waterstof: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Doel: Projecten voor hernieuwbare waterstof (productie, gebruik, import, opslag, transport en maakindustrie)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Energietransitiefonds: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Doel: Onderzoek en ontwikkeling op het gebied van productie, vervoer en opslag</li> <li>• Budget: € 20-30 miljoen per jaar</li> <li>• Doelgroep: bedrijven en onderzoeksorganisaties</li> </ul> </li> <li>– Clean Hydrogen for clean industry</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Nationale waterstofstrategie: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Doel: ontwikkelen elektrolyzers, inzet waterstof in zwaar transport en ondersteunen onderzoek, innovatie en ontwikkeling van vaardigheden</li> <li>• Budget: € 7 miljard</li> <li>• Doelgroep: bedrijven, onderzoeksinstituten, opleidingen</li> </ul> </li> </ul>

<sup>5</sup> Bron: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/TEN00124\\_custom\\_7069865/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/TEN00124_custom_7069865/default/table?lang=en)

<sup>6</sup> Bron: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/GOV\\_10A\\_MAIN\\_custom\\_7068996/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/GOV_10A_MAIN_custom_7068996/default/table?lang=en)



	Nederland	Duitsland	België	Frankrijk
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Doel: Productie van groene waterstof</li> <li>Budget: € 500 miljoen</li> <li>Doelgroep: Bedrijven en onderzoeksorganisaties</li> </ul> <p>Toegepast onderzoek en innovatie pilots:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>MOOI-tenders: <ul style="list-style-type: none"> <li>Doel: Projectontwikkeling voor elektriciteit, gebouwde omgeving en industrie</li> <li>Budget: totaal € 81,4 miljoen (niet alleen voor waterstof)</li> <li>Doelgroep: samenwerkingsverbanden met minimaal 3 ondernemingen</li> </ul> </li> <li>DEI+ <ul style="list-style-type: none"> <li>Doel: Ondersteunen van pilot- en demonstratieprojecten</li> <li>Budget: voor waterstof en groene chemie: € 29,4 miljoen in 2022</li> <li>Doelgroep: Nederlandse bedrijven</li> </ul> </li> <li>Opschaling middels nieuwe tijdelijke exploitatiesteun: <ul style="list-style-type: none"> <li>Doel: opschaling van de bouw van elektrolyzers</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Budget: € &gt; 8 miljoen</li> <li>Doelgroep: Bedrijven en onderzoeksorganisaties</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>H2 Global: <ul style="list-style-type: none"> <li>Doel: tijdelijke compensatie van verschil tussen inkoop- en verkoopprijs voor groene waterstof en PtX-producten</li> <li>Budget: € 900 miljoen</li> </ul> </li> <li>NIP (National Innovation Programme Hydrogen and Fuel Cell Technology): <ul style="list-style-type: none"> <li>Doel: R&amp;D en marktinnovatie van waterstof en brandstofcel-technologie</li> <li>Budget: € 1.4 miljard</li> <li>Doelgroep: Bedrijven en onderzoeksorganisaties met een vestiging in Duitsland</li> </ul> </li> <li>Internationale H2-projecten: <ul style="list-style-type: none"> <li>Doel: Internationale projecten buiten de EU of de EFTA met perspectief op de gehele waardenketen</li> <li>Budget: afhankelijk van project</li> <li>Doelgroep: Bedrijven en onderzoeksorganisaties voor bedrijven en onderzoeksinstututen met een vestiging in Duitsland</li> </ul> </li> <li>Andere subsidies (niet alleen voor waterstof):  <a href="https://www.diik.de/de/themen-">https://www.diik.de/de/themen-</a> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Doel: technologieën voor productie en gebruik van waterstof</li> <li>Budget: € 50 miljoen in 2022, € 10 miljoen 2023</li> <li>Doelgroep: projecten in de praktische ontwikkelingsfase</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>Oproep voor invoer van waterstof: <ul style="list-style-type: none"> <li>Doel: Ontwikkeling en demonstratie van technologieën voor invoer van waterstof</li> <li>Budget: € 10 miljoen in 2023</li> <li>Doelgroep: bedrijven</li> <li>Aanpassing van belastingen, accijnzen of toepassingen (bijv. elektrolyseactiviteit is vrijgesteld van accijns op elektriciteit)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Industriële innovatieprojecten van Europees belang (IPCEI): <ul style="list-style-type: none"> <li>Doel: Projecten voor hernieuwbare waterstof (productie, gebruik, import, opslag, transport en maak-industrie)</li> <li>Budget: € 1,5 miljard</li> <li>Doelgroep: Bedrijven en onderzoeksorganisaties</li> </ul> </li> <li>ADEME, bouwstenen en demo's waterstoftechnologie: <ul style="list-style-type: none"> <li>Doel: Ontwikkelen en verbeteren van onderdelen en systemen voor de productie en vervoer van waterstof en toepassingen daarvan en ondersteuning voor demonstratie- en proefprojecten</li> <li>Budget: € 350 miljoen</li> <li>Doelgroep: bedrijven en academische instellingen</li> </ul> </li> <li>ADEME, regionale waterstofhubs: <ul style="list-style-type: none"> <li>Doel: voortzetten van de invoering van waterstof-ecosystemen, met name voor industriële toepassingen</li> <li>Budget: € 275 miljoen</li> <li>Doelgroep: bedrijven, private en publieke instellingen</li> </ul> </li> <li>Vrijstelling van accijns op biobrandstoffen voor raffinaderijen</li> </ul>

	Nederland	Duitsland	België	Frankrijk
	<ul style="list-style-type: none"> <li>en productie van groene waterstof</li> <li>• Budget: € 35 miljoen per jaar</li> <li>• Doelgroep: bedrijven die elektrolyzers bouwen</li> </ul> – Uitrol SDE++: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Doel: bedrijven en non-profitorganisaties stimuleren om groot-schalig hernieuwbare energie op te wekken en CO<sub>2</sub>-uitstoot verminderen</li> <li>• Budget: maximaal subsidiebedrag van € 300 per ton</li> <li>• Doelgroep: bedrijven en instellingen uit alle sectoren, met uitzondering van Rijksoverheid</li> </ul>	<a href="#">und-positionen/wirtschaftspolitik/energie/wasserstoff/h2-foerderprogramme-67860</a>		– Steun per kilo biomethaan (te verkrijgen na een aanbesteding voor koolstofarme waterstof op industrieterreinen of die bestemd is voor mobiliteit)
Gebruik waterstof in sectoren	– Havens en industrieclusters – Transport – Gebouwde omgeving – Elektriciteitssector – Agro-sector	– Industrie – Transport – Warmte – Infrastructuur	– Industrie – Transport – Elektriciteitssector – Gebouwde omgeving	– Industrie – Zware transport
Knelpunten: Human Capital	– Gebrek aan technici (installateurs, monteurs) – Tekort aan architecten en ingenieurs met universitaire opleiding – Pensioen ervaren werknemers in de gasector	– Structureel zwakke regio's lag het BBP van deze regio's de afgelopen tien jaar rond de 80% van het nationale gemiddelde – Tekort aan technici: tot 2035 kan meer dan 40% van de vraag naar	– Tot 2030 zal er een omslag plaatsvinden naar structureel arbeids tekort – Aanwerving en bij- of omscholen van werknemers is moeilijk	– Er zijn meer gekwalificeerde werknemers nodig op het gebied van ingenieurs, technici en operators – Grootste uitdaging is om mensen op te leiden op het gebied van de specifieke kenmerken van

	Nederland	Duitsland	België	Frankrijk
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Lerarentekort</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>monteurs, installateurs, ingenieurs niet bezet worden</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>waterstofgas, componenten en procedures</li> </ul>
Oplossingen: Human Capital	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Techniepact: Inzetten instroom, lerarentekort en -professionalisering, publiek/privaat samenwerken en leven lang ontwikkelen met landelijke afspraken en techniepacten en acties in regio's</li> <li>– Om -en bijscholingsprogramma's voor mensen uit vergelijkbare sectoren en arbeidsmigranten (bijv. via programma's van Techniek Nederland)</li> <li>– Learning Communities</li> <li>– Nationaal Kennisplatform</li> <li>– Pakket aan onderwijsprogramma's</li> <li>– Tijdig voorbereiden beginnende studenten (bijv. RegioDeal Kop van Noord Holland)</li> <li>– Ontwikkeling van cursussen, een breder nationaal pakket en een digitale leeromgeving</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Opzetten van onderzoeksinstituten en competentie centra's</li> <li>– Samenwerking met buitenland op gebied van onderzoek en opleiding</li> <li>– Opleiding operationeel personeel voor bijv. brandstofcel voertuigen</li> <li>– Uitbreiding capaciteit van wetenschappers door educatie en onderzoek met elkaar te verbinden</li> <li>– Mogelijkheden voor PhD-studenten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Op federaal niveau wordt er weinig tot geen beleid gevoerd betreft de Human Capital van arbeid</li> <li>– De Vlaamse regering heeft we; een roadmap opgesteld voor de Vlaamse klimaattransitie voor energie-intensieve bedrijven. De roadmap bevat een stappenplan om de knelpunten (deels) op te lossen, door onder andere centraal kennisplatform, doelgroepenprogramma, waardepropositietraject, sectorbranding campagne en cross-sectoraal opleidingsplatform</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Programme Hydrogène et mobilité (professionals in de mobiliteitssector opleiden in waterstoftechnologieën)</li> <li>– Programme Hydrogène et énergies renouvelables (programma voor opleiding van werknemers op het gebied van de productie van waterstof uit hernieuwbare energiebronnen)</li> <li>– Programme Hydrogène et bâtiment (programma voor opleiding van vakmensen in de bouwsector op het gebied van waterstoftoepassingen, zoals verwarming en elektriciteitsproductie)</li> </ul>

### 3.4 Historisch onderzoek

Voor het historisch onderzoek is gekeken naar drie historische ontwikkelingen met als doel een beter begrip te krijgen van de impact van technologische ontwikkelingen op de Nederlandse arbeidsmarkt. We richten ons zowel op de vraag naar arbeid als op het aanbod ervan. In dit onderzoek is gekeken naar de volgende technologische transitie:

- windenergie op zee;
- uitbreiding van glasvezelnetwerken;
- implementatie van gasloos bouwen.

Deze paragraaf geeft antwoord op de vragen:

- Hoe verliepen recente technologische revoluties?
- Welke prikkels waren nodig om tot een positieve businesscase te komen?
- Welke knelpunten op de arbeidsmarkt worden ervaren en hoe worden deze knelpunten geadresseerd?

Door deze vragen voor de drie genoemde recente technologische ontwikkelingen te beantwoorden, krijgen we een beeld van huidige en mogelijke toekomstige parallellen in de ontwikkeling van de waterstofketen. Deze parallellen vertellen meer over de verwachtingen van de ontwikkeling van vraag en aanbod op de arbeidsmarkt van de waterstofketen.

#### 3.4.1 Windenergie op zee

##### Ontwikkeling van de technologie

De technologische basis voor windmolens bestaat al lange tijd. De eerste windmolen werd in Nederland gebouwd in 1221 (deze molen stond in het voormalige dorp Willemskerke in Zeeuws-Vlaanderen). Hoewel windmolens destijds voor andere doeleinden worden gebruikt, zoals het droogmalen van polders, duurt het een tijd voordat windturbines op land en zee worden ontwikkeld voor energieopwekking. Pas tijdens de oliecrisis in de jaren zeventig krijgt windenergie als energiebron meer erkenning.

De Nederlandse windenergie-industrie volgt op hoofdlijnen de ontwikkelingen in Europa. De eerste Europese windmolens worden echter niet in Europa, maar in Californië geïnstalleerd in 1982. In Europa wordt in hetzelfde jaar de Europese Wind Energie Vereniging (EWEA) opgericht (WindEurope, 2023). Landen zoals Denemarken, Zweden, Griekenland, het Verenigd Koninkrijk, Duitsland en Nederland hebben bijgedragen aan de uitbreiding van de windenergiecapaciteit en de introductie van de eerste beleidsprogramma's om dit te stimuleren. Het eerste Europese windpark met een capaciteit van 100 kW wordt opgericht op het Griekse eiland Kythnos. In 1985 kondigt de EU de financiering aan van 97 demonstratieprojecten. Het Nederlandse overheidsprogramma 'Integraal Programma Windenergie' wordt een jaar later opgesteld. In 1991 wordt in Denemarken het eerste windpark op zee ter wereld gebouwd (WindEurope, 2023). In de loop der jaren worden de Europese doelstellingen voor windcapaciteit regelmatig bijgesteld. Ook worden de rotorbladen steeds groter, van 17 meter in 1980 tot wel 100 meter in 2010. Tussen 2010 en 2018 groeit de wereldwijde offshore windmarkt met 30% per jaar (IEA, 2019). Dit gaat gepaard met een wederzijds proces waarbij eerst de generator, vervolgens de rotorbladen en zo verder steeds worden vergroot.

Uiteindelijk draait het echter minder om het behalen van de maximale jaarlijkse energie-opbrengst, maar meer om kosteneffectiviteit. Grotere generators verhogen de marginale kosten en het aantal uren met sterke wind neemt na verloop van tijd af (Hygro, 2023). Daarom is de grootte van de generator zo gekozen dat de turbine de meeste uren per jaar op vol vermogen kan draaien en het maximale nominale vermogen al bij relatief lage windsnelheden bereikt. Bij sterkere wind wordt er dan geen elektriciteit meer geproduceerd. Nieuwe opslagtechnologieën en het gebruik van waterstof als primaire energiedrager kunnen in de toekomst mogelijk verandering brengen in dit proces.

## Een blik vooruit

Volgens het Energieakkoord voor duurzame groei, dat in 2023 van kracht is, is er een verplichting om minimaal 4,5 GW aan windenergie op zee te installeren. Hierdoor zal windenergie op zee 3,3% van de totale energievoorziening in Nederland leveren. Het Klimaatakkoord (2019) en het regeerakkoord (2021) hebben de voortzetting van het beleid voor windenergie op zee bevestigd. Het streven is om tegen 2030 ongeveer 21 GW aan offshore windparken te hebben. Deze parken zijn dan goed voor 16% van de totale energievoorziening in Nederland en 75% van het huidige elektriciteitsverbruik (RVO, 2023).

### *Van financieringsprogramma's naar marktwerking*

Tussen 1982 en 1990 vinden de eerste Europese financieringsprogramma's plaats. Deze programma's zijn veelal gericht op demonstratieprojecten. Nationale financiering wordt gestimuleerd door Europese doelen en richtlijnen waarin lidstaten moeten voldoen aan een bepaald percentage hernieuwbare energie. Typische instrumenten zijn feed-in-tarieven, zoals het 'Deutsche Einspeisegesetz' vanaf 1991, groene certificaten in het VK en vaste tarieven in Frankrijk vanaf 2001 (WindEurope, 2023).

In 1996 lanceert Frankrijk het eerste tenderprogramma, waarbij Nederlandse projectontwikkelaars nog zelf verantwoordelijk zijn voor locatiekeuze en vergunningen voor offshore windparken, wat hoge kosten met zich meebrengt. Dit verandert met het Energieakkoord in 2013, waarin het doel is gesteld om tegen 2020 14% hernieuwbare energie te bereiken en de offshore windgebieden Borssele, Hollandse Kust Zuid en Hollandse Kust Noord worden gecreëerd (WindEurope, 2023). Daarnaast biedt TKI Wind op Zee in 2017 ook subsidie voor ondernemers, wetenschappers en kennisinstellingen aan die aan R&D voor Wind op Zee doen.

In 2016 wint DONG Energy met een bod van € 72,7/MWh de vergunning voor de windparken Borssele I en II, waarmee voor het eerst prijsgelijkheid tussen wind- en conventionele energie wordt bereikt. In 2018 kon het eerste Nederlandse offshore windpark zonder subsidies worden gebouwd (WindEurope, 2023). Het Klimaatakkoord heeft de doelstellingen voor windenergie op zee vergroot en er zijn meer windgebieden vrijgesteld. Tegen 2030 moet het gezamenlijke vermogen van offshore windparken worden verhoogd tot 21 GW, en tegen 2050 tot 55 GW (RVO, 2022).

## Arbeidsmarkt

### *Pioniersfase: sterk leunen op expertise uit het buitenland*

De arbeidsmarkt voor windenergie op zee heeft zich in de loop der jaren ontwikkeld en aangepast aan de groei van de sector. Gesprekspartners geven aan dat in de beginjaren voornamelijk tijdelijke ingenieurs uit landen zoals Denemarken en Duitsland worden

ingeschakeld om de pioniersfase van de offshore windparken te ondersteunen. Deze ingenieurs brengen waardevolle expertise en ervaring in om het complexe ingenieurswerk in de sector aan te kunnen. Vanwege vergelijkbare benodigde vaardigheden en conjuncturele druk in de olie- en gassector kunnen deze ingenieurs ook uit de offshore gassector komen. Net zoals in de offshore windsector werken er ook veel flexibele krachten in de gassector, die een deel van de krimp kunnen opvangen. Wel kan de vraag naar het ontmantelen van olie- en gasplatforms concurreren met de vraag naar offshore windtechnici. Hoewel werknemers over de nodige competenties beschikken, is aandacht nodig voor hun kennis van regels en procedures met betrekking tot veiligheidsprocedures tijdens het uitvoeren van werkzaamheden op grote hoogten.

- In de constructie- en aanlegfase wordt ook sterk geleund op arbeid uit het buitenland. Het Economisch Instituut voor de Bouwnijverheid heeft in 2016 gekeken naar de impact van de energietransitie op de inzet en kwaliteit van arbeid. Zij maken daarbij voor het onderdeel wind op zee onderscheid tussen enkele fasen:
  - In de **voorfase van beleid, onderzoek en ontwerp** wordt volgens het EIB voornamelijk hoger geschoold Nederlands personeel ingezet en zijn de arbeidsvoorwaarden goed en vergelijkbaar met de zakelijke dienstverlening. De omvang van het aantal arbeidskrachten op deze fase ligt rond 450 arbeidsjaren voor een representatief windpark van 700 MW. Deze inzet maakt een relatief klein deel uit van de benodigde inzet voor alle fasen.
  - In de **constructiefase** vindt het meeste werk plaats bij buitenlandse bedrijven, waarbij arbeidsvoorwaarden en veiligheid aandachtspunten zijn. Het werk dat in Nederland wordt verricht wordt vooral door middelbaar technisch opgeleid personeel uitgevoerd en is onderdeel van een bredere continue opdrachtenstroom bij de bedrijven. De inzet van Nederlandse werkgelegenheid voor een representatief windpark van 700 MW wordt op 4.200 arbeidsjaren geschat. Deze fase neemt het grootste deel van de totale investering voor haar rekening (ongeveer 75%). Het grootste deel daarvan wordt toegeschreven aan productie in het buitenland. Windturbines en bladen (45% van de investering) worden bijvoorbeeld enkel in het buitenland geproduceerd.
  - In de **aanlegfase** speelt het Nederlandse bedrijfsleven een groot aandeel, maar de werkgelegenheid slaat ook hier voor een groot deel in het buitenland neer. Volgens het EIB zal het hoger opgeleid personeel op de schepen voornamelijk uit Nederlandse werkenden bestaan, maar bestaat het middelbaar opgeleid personeel op de schepen uit een brede mix van nationaliteiten. De arbeidsvoorwaarden en faciliteiten op zee zijn gunstig om het voor de mensen aantrekkelijk te maken onder de maritieme omstandigheden te werken. De totale inzet van Nederlandse arbeidskrachten wordt op 1.600 arbeidsjaren ingeschat.
  - Voor de **onderhoudswerkzaamheden** in de exploitatiefase worden lokale teams van vrijwel uitsluitend Nederlandse werkenden opgeleid. De arbeidsomstandigheden zijn over het algemeen goed. De verwachting is dat de cao's goed zullen worden opgevolgd en opvolging van de strenge veiligheidsmaatregelen is goed georganiseerd.
- Opschalingsfase: gunstige groeisector om in te werken. Ook terugkijkend zien we dat de arbeidsomstandigheden in de sector over het algemeen goed zijn. Zo blijkt bijvoorbeeld uit een studie van Knol and Baken (2018) dat circa drie kwart van het personeel in de sector in vaste dienst is, wat de continuïteit en de kwaliteit van het arbeidsaanbod groot maakt. Daarnaast is sprake van een sterk groeiende sector. Zo wordt de omvang van de structurele werkgelegenheid voor technici voor de onderhoudswerkzaamheden geraamd op 550-1.350 fte in 2030 (bij 11,5 GW aan opgesteld vermogen).

- Randvoorwaarden: technische vaardigheden zijn doorslaggevend. Knol and Baken (2018) benadrukken het belang van een flexibele en adaptieve aanpak op het gebied van opleiding en bijscholing om te kunnen voldoen aan de toekomstige vraag naar arbeidskrachten in de offshore windsector. Het identificeren van specifieke functiegebieden en het ontwikkelen van de benodigde vaardigheden spelen een cruciale rol bij het waarborgen van een goed functionerende arbeidsmarkt in deze snelgroeiende industrie.
- Soort opleidingen en vaardigheden. Voor de engineering- en ontwerpfasen van windparken op zee is voornamelijk personeel met een universitair niveau vereist. Passende opleidingen hiervoor zijn onder andere ingenieursopleidingen (civiele, elektrische techniek), maritieme technologie, energietechnologie en specifieke opleidingen gericht op offshore constructie (Knol & Coolen, 2019). Een rapport van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) benoemt de krapte op de markt voor ingenieurs en architecten met een universitaire opleiding als een van de belangrijkste knelpunten bij de uitvoering van het klimaatbeleid (PBL, 2022).

Na de standaardisatie van offshore windparken neemt het aantal onderhoudsmedewerkers met een mbo- of hbo-niveau toe. Expertise op het gebied van technische reparaties, veiligheid en technisch onderhoud is hierbij essentieel. Daarnaast leveren ook wo-opleidingen, zoals Industrial Automation, Operational Management in Industry en Service Logistics een bijdrage aan de operatie van offshore windparken (Knol & Coolen, 2019). Voor operationele werknemers in de offshore windsector spelen ook een bepaalde houding en fysieke vaardigheden een rol, zoals het ontbreken van claustrofobie, hoogtevrees en zeeziekte. Vanwege het uitdagende en zware werk zoeken offshore technici vaak na vier tot tien jaar nieuw werk (Knol & Baken, 2018), wat een continue nieuwe aanwas van werkenden noodzakelijk maakt, evenals een goede mobiliteit van huidige werkenden naar posities elders in de economie waar hun ervaring, kennis en vaardigheden effectief inzetbaar zijn.

Hoewel het PBL de behoefte aan machinemonteurs, metaalbewerkers en constructiewerkers groter inschat dan het aantal werknemers met een universitair niveau, wordt meer schaarste verwacht onder werknemers met een universitaire achtergrond (PBL, 2022). Provincies zoals Zeeland, Limburg en Drenthe hebben te maken met een relatief klein aanbod van technici (PBL, 2022). Vanwege de afnemende werkgelegenheid in de gassector en de verwantschap op het gebied van operations & maintenance tussen de offshore wind- en offshore olie- en gassectoren, kunnen sommige technici uit de offshore olie- en gassector worden gerekruteerd (Knol & Baken, 2018).

De doelstellingen voor 2030 en daarna vereisen menskracht op het gebied van bevoorrading, operaties en het beheer van offshore windinstallaties. Twee-derde van de directe werkgelegenheid in de toeleveringsketen zal afkomstig zijn uit het buitenland. Dit heeft voornamelijk betrekking op gondels, fabricage en assemblage van rotors. Op dit moment bestaat er een onvoldoende goede match tussen het Nederlandse arbeidsaanbod en de arbeidsvraag in deze sector. De voorzieningen voor funderingen en onderstations zouden wel kunnen worden geleverd door Nederlandse toeleveringsketens (Knol & Coolen, 2020).

Arbeidskrachten voor offshore windparken zijn afkomstig uit de internationale markt. Ondanks bestaande relevante technische opleidingen, zoals Elektrotechniek, Werktuigbouwkunde of Duurzame Energietechnologie, zouden onderwijsinstellingen meer onderlinge samenwerking kunnen zoeken om een nationale onderwijsaanpak te ontwikkelen voor technici in de offshore windindustrie. De focus op Engelse taalvaardigheid moet worden versterkt, zowel om de verbinding tussen de industrie en industrieel toegepast onderzoek te

bevorderen (Knol & Coolen, 2019). Dit is cruciaal in een internationale markt waarop Nederlandse bedrijven actief zijn.

### 3.4.2 Glasvezelnetwerken

#### Ontwikkeling van de technologie

Het glasvezelnetwerk heeft een geschiedenis die teruggaat tot de jaren '60 van de vorige eeuw. Kort samengevat bestaan glasvezels uit zeer dunne glazen vezels waarin data door lichtpulsjes getransporteerd worden. Daarmee kan de technologie gezien worden als een alternatief voor andere technologieën, zoals DSL en coaxkabels, die bestaan uit koper.

De belangrijkste mijlpalen zijn:

- **Jaren '60:** Elias Schnitzer en Will Hicks leggen de basis door dunne glazen vezels te produceren en lichtsignalen erdoorheen te sturen (Eurofiber, 2023).
- **Jaren '70:** Charles Kao ontwikkelt nieuwe technologieën die de verliezen in glasvezels aanzienlijk verminderden, waardoor het beter mogelijk is om signalen over langere afstanden te verzenden. In 2009 ontvangt Kao hiervoor de Nobelprijs voor Natuurkunde (Eurofiber 2023).
- **Jaren '80:** de glasvezeltechnologie wordt steeds verfijnder en er worden glasvezelkabels geproduceerd die geschikt zijn voor telecommunicatiedoeleinden. Deze kabels verzenden grote hoeveelheden data over langere afstanden met minimale verliezen. In deze jaren start de Amerikaanse overheid met toepassingen om computers met elkaar te verbinden (Fiberplus, 2019).
- **Jaren '90:** Glasvezelkabels worden gebruikt voor trans-Atlantische communicatie. De grootschalige uitrol van glasvezelnetwerken start aan het einde van deze periode. Het gebruik van de glasvezelkabels biedt klanten aanzienlijke voordelen, zoals sneller internet met een grotere bandbreedte. Zowel bedrijven als particulieren maken in deze jaren gebruik van de technologie. Op dat moment is KPN de belangrijkste aanbieder van internet-, telefonie- en televisiediensten. DSL- en coaxnetwerken worden vervangen door glasvezelnetwerken.
- **Vanaf 2000:** Begin jaren '00 zet de grootschalige uitrol van glasvezelnetwerken verder door - zowel op de zakelijke als op de particuliere markt. Vanwege de financiële crisis in 2008 komt de uitrol van glasvezelnetwerken nagenoeg tot stilstand (Dialogic & TNO, 2016). VolkerWessels herstert de uitrol, wat leidt tot overname door KPN. De uitrol stagneert opnieuw in 2014 ten opzichte van de goedkopere DSL-verbindingen (VolkerWessels, 2023). Veel buitengebieden hebben nog steeds DSL- of coax-verbindingen (Dialogic & TNO, 2016). Pas op het moment dat een groeiende vraag ontstaat vanuit deze buitengebieden naar snellere verbindingen, wordt de uitrol van glasvezel hervat (Andriessen, 2022).
- **Heden:** glasvezelnetwerken blijven zich uitbreiden. Glasvezels kunnen nu gezien worden als de *infrastructurele backbone* voor internetverbindingen (Andriessen, 2022) en spelen een belangrijke rol bij de ondersteuning van nieuwe technologieën, zoals kunstmatige intelligentie, cloud computing, streamingdiensten, 5G en het internet der dingen. Na de coronapandemie en periodes van schaarste van materialen heeft de glasvezelmarkt de afgelopen jaren een opleving gekend, met inmiddels meer dan vier miljoen aansluitingen in Nederland.





## Van financieringsprogramma's naar marktwerking

Met de groeiende vraag naar snellere internetverbindingen in zowel stedelijke gebieden als buitengebieden (de fiber-to-home-markt) zijn verschillende businessmodellen onderzocht, voornamelijk in het oosten van Nederland. Deze modellen omvatten verschillende financiële constructies en beschouwen zowel de rol van de overheid als private partijen (Andriessen, 2022). Vóór 2000 is KPN een staatsbedrijf en zijn de kabelnetwerken in handen van lokale kabelbedrijven, ook bekend als CAI's. Na privatisering van de markt wordt de uitrol van glasvezelnetwerken in zowel stedelijke als landelijke gebieden nog steeds door de overheid gesubsidieerd (omdat het netwerk deels een publiek goed is met positieve externe effecten). Aangezien de markt geprivatiseerd is en ongeoorloofde staatssteun vermeden moet worden, zijn er verschillende juridische kaders waarbinnen staatssteun kan plaatsvinden. Enkele voorbeelden van subsidies zijn garantieleningen voor de Regio Rivierland of subsidies voor eindgebruikers in het buitengebied van Zeeland (EC, 2018) (Provincie Zeeland, 2023). Vanwege de grotere afstand bij de aanleg is met name de installatie in buitengebieden duurder (Dialogic & TNO, 2016). Tussen 2016 en 2018 kunnen de eerste investeerders door voldoende vraag en kapitaal ook glasvezelverbindingen in buitengebieden aanleggen. De overheid heeft voornamelijk een coördinerende rol om landelijke dekking na te streven. Bedrijven dienen hun plannen in bij gemeenten, die de goedkeuring verlenen. Aangezien KPN al veel DSL-verbindingen heeft, kunnen zij zich relatief eenvoudig toegang verschaffen tot het ombouwen van deze infrastructuur naar glasvezel (Dialogic & TNO, 2016). Andere marktpartijen bestaan uit fusies met buitenlandse investeerders zoals EQT en Delta Fiber NL, of samenwerkingsverbanden zoals Open Dutch Fibre en T-Mobile.

## Arbeidsmarkt

De uitrol van glasvezelnetwerken is relatief kostbaar, tijdrovend en arbeidsintensief. Voor de beslissing om bepaalde wijken aan te sluiten wordt daarom sterk naar de individuele businesscase per gebied gekeken. Hoewel er weinig informatie beschikbaar is over (de samenstelling van) het soort personeel dat wordt ingezet geeft een beschrijving van het arbeidsproces ons toch inzicht. Doordat de technologie al enkele tientallen jaren marktrijp is, nemen we hieronder de onderzoeks- en ontwerpfase niet mee.

### – Voorfase:

De aanleg van glasvezelnetwerken begint met een locatiebeoordeling door een schouwer, in overleg met een projectmanager. De schouwer bekijkt of de locatie geschikt is voor een glasvezelmodel, maar ook waar de glasvezelkabel bijvoorbeeld de wijk, de woning of het bedrijf moet binnenkomen. De schouwer beschikt meestal over een technische mbo-opleiding. De projectmanager zorgt voor de juiste vergunningen vanuit de gemeente en provincie. Een inkoper zorgt er voor dat er voldoende materialen aanwezig zijn zodat de aannemer het graafwerk kan verrichten. Vervolgens wordt een verbinding ontworpen en ingepast door een netwerkarchitect en een netwerkengineer. De meeste van deze functies vereisen een hbo-diploma of een mbo-diploma met bijscholing of wat meer ervaring (achtergrond: commerciële of technische opleiding) (FCA, 2018).

Business developers en projectmanagers groeien door de jaren heen met de ontwikkelingen in de glasvezelmarkt mee en vergroten door het werk bij meerdere bedrijven hun kennis. Ondertussen werken deze mensen bij marktpartijen, zoals KPN. Het gaat om een relatief kleine groep van ongeveer honderd mensen, grotendeels mannelijk in de leeftijd tussen 50 en 60 jaar. De business developers onderzoeken of de uitrol van een glasvezelnetwerk rendabel is. Daarbij wordt de terugverdientijd vastgesteld, en worden

verdisconteerde baten afgezet tegen lasten (bestaande uit de aanleg- en operationele kosten). Ook deze business developers beschikken meestal over een hbo-werkniveau.

- **Aanleg- en constructiefase:**  
Nadat de projectmanager toestemming van de gemeente en provincie heeft verkregen en de inkopers voor voldoende materiaal gezorgd verrichten aannemers het graafwerk (FCA, 2018). De meeste functies die van belang zijn voor de aanleg van glasvezel vergen een opleiding op mbo-niveau.

Door de privatisering en de snelle uitrol van de glasvezelmarkt in recente jaren zijn goedkope arbeidskrachten die vele uren buiten kunnen werken van groot belang. Voor de concurrerende bedrijven wordt deze vraag vaak door arbeidskrachten uit Oost-Europa vervuld. Tijdens de uitrol door VolkerWessels is dit ook al het geval, echter duurt het weer langer om deze onderaannemers na de stagnatie weer aan te trekken (Andriessen, 2022). De apparatuur voor glasvezel kent een internationale markt en kan niet door Nederlandse arbeidskrachten alleen vervuld worden. Meterkastjes worden bijvoorbeeld op grote schaal uit Azië geïmporteerd.

- **Onderhoudswerkzaamheden:**  
De arbeidsmarkt voor onderhoudswerkzaamheden aan glasvezelnetwerken is van groot belang voor het functioneren en de betrouwbaarheid van deze netwerken. Het onderhoud omvat taken, zoals het opsporen en verhelpen van storingen, het vervangen van beschadigde kabels en het uitvoeren van preventieve controles en updates. Deze specifieke sector vereist technisch geschoolde professionals met kennis van glasvezeltechnologie en ervaring in netwerkbeheer. Onderhoudstechnici moeten bekend zijn met de complexiteit van glasvezelnetwerken en in staat zijn om diagnose- en herstelprocedures uit te voeren. De meeste van deze functies voor het uitvoeren van de onderhoudswerkzaamheden zijn op mbo-niveau. Daarnaast zijn er beheerderstaken. Deze werkzaamheden zijn hoofdzakelijk op hbo-niveau.

### 3.4.3 Aardgasvrije bouw

#### **Ontwikkeling van de technologie (van aardgasgebruik naar de warmte-transitie)**

Tijdens de industriële revolutie wordt aardgas voor het eerst op een commerciële manier ingezet. In 1785 wordt aardgas uit kolen gebruikt om huizen en straten te verlichten. De uitrol van stadsgas in Nederland vindt vanaf 1850 plaats. De gasnetwerken worden in die tijd gevoed door gas dat uit steenkolen is gewonnen. Na de Tweede Wereldoorlog richten Shell en Esso de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) op om aardolie op te sporen en te winnen. In 1948 ontdekt de NAM het eerste aardgasveld in Coevorden en in 1951 worden de eerste Nederlandse huizen aangesloten op aardgas. Het Groningen gasveld, een van 's werelds grootste gasvelden, wordt vanaf 1959 aangeboord. Tegelijkertijd vindt er ook seismisch onderzoek offshore plaats. De NAM is sindsdien meer gericht op gasproductie dan op aardoliewinning. In 1963 wordt Gasunie opgericht, een staatsonderneming verantwoordelijk voor de infrastructuur van gastransport en gasopslag. Sinds 1974 wordt gas ook gewonnen uit andere gasvelden, waarvan er inmiddels 175 zijn.



De aardbevingen in Groningen rond 2012 markeren een keerpunt in de winning van Nederlands aardgas. Om de regio veiliger te maken bouwt het kabinet de gaswinning sinds 2018 zo snel mogelijk af. Per 1 oktober 2023 stopt de gaswinning in Groningen. Alleen in zeer bijzondere situaties kan het nodig zijn om tijdelijk in beperkte mate gas te winnen, maar het uitgangspunt is geen gaswinning.

### *Aardgasvrij bouwen hangt samen met ontwikkelingen, zoals warmtepompen en isolatie*

Met het Klimaatakkoord van 2019 streeft Nederland naar aardgasvrije woningen in 2050. Hierdoor hebben alternatieve technologieën de afgelopen jaren meer aandacht gekregen, zoals zonneboilers, (hybride) warmtepompen, isolatiemaatregelen, aansluitingen op warmtenetten en elektrische kookvoorzieningen. Deze technologieën bestaan al langer. Het potentieel van warmtepompen komt bijvoorbeeld al naar voren tijdens de oliecrisis, en rond dezelfde tijd verschijnt de inductiekookplaat op de markt. Warmtepompen zijn veel efficiënter dan cv-ketels, maar verbruiken wel elektriciteit. Het aanleggen van warmtenetten brengt hoge kosten en infrastructurele veranderingen met zich mee: elektrificatie of aansluiting op een warmtenet. Momenteel is ongeveer zes procent van de Nederlandse huizen aangesloten op een warmtenet, alternatieven zijn all-electric (Milieu Centraal, 2023).

### **Van financieringsprogramma's naar marktwerking**

Energiecrises hebben vaak geleid tot stimulerend of regulerend overheidsbeleid in de gasector. Al in 1974 wordt de gaswinning uit het Groningen gasveld beperkt om eerst gas uit kleinere velden op zee en land te benutten. Met het definitieve einde van de gaswinning in 2030 zijn er subsidies geïntroduceerd om de transitie naar aardgasvrij bouwen te stimuleren. Vanwege de hoge kosten om volledig van aardgas af te stappen, wordt een hybride warmtepomp, die samenwerkt met een cv-ketel, gezien als een tussenoplossing. De kosten hiervan kunnen variëren tussen de € 2.250 en 7.500, inclusief installatie en aftrek van subsidie. Voor 2026 is er een verplichting door het Rijk van het installeren van hybride ketels bij vervanging van bestaande cv-ketels. Sinds 2023 kunnen woning- en bedrijfs-eigenaren gebruikmaken van de ISDE-subsidieregeling, waarvoor € 350 miljoen beschikbaar is gesteld voor zonneboilers, (hybride) warmtepompen, isolatiemaatregelen, aansluitingen op een warmtenet en een elektrische kookvoorziening. Daarnaast is het mogelijk om te lenen via het Warmtefonds.

Ondernemers hebben al jarenlang gebruik kunnen maken van subsidies zoals (I)SDE(++), MIA/Vamil en EIA. Veel gemeenten bieden ook subsidies aan en spelen een belangrijke rol in de energietransitie. Via de Regionale Energiestrategie (RES) en een gemeentelijke Transitievisie Warmte moeten gemeenten uiteindelijk een uitvoeringsplan per wijk opstellen. De overheid biedt ondersteuning via een startanalyse van het PBL en een lokale analyse van het Expertise Centrum Warmte.

In tegenstelling tot een gasaansluiting is er bij een warmtenetaansluiting slechts één aanbieder, die zich aan de maximumtarieven van de Warmtewet moet houden. De tarieven voor warmte mogen daarbij niet hoger zijn dan de gaskosten (niet-meer-dan-anders), waardoor de prijs van warmte dus de facto gekoppeld is aan de aardgasprijs. In de nieuwe Warmtewet worden nieuwe tariefmodellen voorgesteld waarin de tarieven meer gebaseerd worden op de onderliggende kosten van warmtelevering en er dus ontkoppeling van de aardgasprijs plaatsvindt. Dit is rendabel voor regio's met een hoge afnemersdichtheid, maar



lastiger voor kleine wijkgebonden netten met weinig afnemers. De rol van de overheid en private ondernemers moet nog verder worden uitgewerkt in deze sector.

## Arbeidsmarkt

Monteurs en installateurs zijn vooral van belang voor het aanleggen van zonnepanelen, warmtepompen, warmtenetten, radiatoren en ventilatie. Installatiewerkzaamheden in de duurzame bouw zijn meer specialistisch en kunnen lastiger door andere bouwplaatsberoepen vervuld worden (EIB, 2022). Vooral het plaatsen van hybride ketels vereist meer uren werk dan het installeren van een cv-ketel. Voor extra units moeten twee aparte installateurs aantreden. Het tekort in de installatiebranche maakt het moeilijker om de ambities voor 2050 te realiseren. Het EIB berekent dat er 3.000 extra installateurs voor de verplichtstelling voor hybride ketels in 2026 nodig zijn en dat het onduidelijk is in hoeverre deze capaciteit geleverd kan worden (EIB, 2022).

Techniek Nederland, de ondernemersvereniging van technische dienstverleners, streeft daarom naar opleidingslocaties in elke regio en het behalen van mbo-deelcertificaten voor hybride warmtepompen. Daarnaast moeten cv-monteurs worden bijgeschoold. Volgens de voorzitter van Techniek Nederland bestaat ongeveer 70% van de instroom in 2022 uit zij-instromers, waaronder mensen uit de horeca of detailhandel. Er worden ook kansen gezien voor arbeidsmigranten. Verder wordt ook op subsidies voor werknemers vanuit de regionale en nationale overheid of brancheorganisaties gewezen. Deze subsidies richten zich op de ontwikkeling in het mkb (SLIM-subsidie) of het volgen van scholingsactiviteiten (STAP-budget). Daarnaast is er een aparte subsidieregeling voor omscholing naar technische beroepen. Studiekosten van werknemers kunnen bijvoorbeeld van de winstbelasting worden afgetrokken. Er bestaan ook vouchers voor de ontwikkeling van medewerkers in de technische installatiebranche.

Omdat de installatiesector tijd nodig heeft om te groeien, kan het verstandig zijn om eerst te investeren in andere energiebesparende maatregelen, zoals isolatie of zonnepanelen op daken. De installatie van warmtepompen of zonneboilers kan door personeel met een mbo-opleiding in de installatietechniek uitgevoerd worden. Deze opleiding bestaat uit de deelsectoren verwarmingsinstallatie, utiliteitsinstallatie, woningbouwinstallatie en dakbedekkingsinstallatie. Mensen met een hbo-diploma werktuigbouwkundige kunnen zich doorontwikkelen in het industriële ontwerp van installaties. De aanleg van warmtenetten vereist, net als in de glasvezelsector, veel graafwerkzaamheden buiten en lange werktijden. Buitenlandse en flexibele arbeidskrachten zouden hier een deel van het werk kunnen opvangen.

In 2023 zijn 53.000 arbeidskrachten bij de verduurzaming van de bouw betrokken. Hiervan wordt 43% ingezet voor isolatiemaatregelen, 32% bestaat uit bouwplaatswerknemers en 24,5% uit uitvoerend technisch personeel. In de productie van de duurzame bouw wordt tot 2030 een sterkere groei verwacht dan in de gemiddelde bouwproductie, waarbij de productie voor duurzame verwarmingsinstallaties het sterkst toe neemt (met een factor van drie), gevolgd door investeringen in isolatie (50%). Na een sterke groei in 2022 neemt de productie die samenhangt met zonnepanelen tot 2030 met de helft af. Voor de duurzaamheidsproductie in de gebouwensector in 2030 wordt een vraag van 20.000 fte extra verwacht (EIB, 2022).

### 3.4.4 Parallelen waterstoftransitie en historische ontwikkelingen

Er bestaan parallelen tussen de waterstoftransitie en de drie historische ontwikkelingen.

- **Grootschalige investeringen in infrastructuur:** net als bij windenergie op zee, glasvezelnetwerken en aardgasvrij bouwen vereist de waterstoftransitie aanzienlijke investeringen in infrastructuur. Nieuwe netwerken en systemen moeten worden ontwikkeld, gebouwd en worden geïntegreerd, wat zorgt voor een grote vraag naar wetenschappelijke kennis, technische vaardigheden (arbeid) en operationele werknemers. Overigens gaat het bij waterstofinfrastructuur ook over aanpassing van bestaande infrastructuur (gas).
- **Energietransitie:** waterstof, windenergie en aardgasvrij bouwen spelen allemaal een belangrijke rol bij het realiseren van de energietransitie en het behalen van de klimaatdoelstellingen. Glasvezelnetwerken dragen bij aan de groei van de digitale industrie. Ook de digitale infrastructuur is gericht op het verminderen van de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen en het bevorderen van duurzame oplossingen.
- **Opleiding, bijscholing en inhuur buitenlands personeel:** voor alle ontwikkelingen is een *flexibele aanpak* op het gebied van opleiding en bijscholing essentieel. Programma's zoals die van Techniek Nederland dragen bij aan tijdige opleiding en omscholing van personeel. Buitenlandse arbeidskrachten dragen bij aan het opvullen van het gat tussen vraag en aanbod, en spelen een belangrijke rol bij met name de aanleg en installatie van nieuwe netwerken en machines. Dit zal naar verwachting ook gelden voor de waterstoftransitie.
- **Samenwerking met het buitenland:** apparatuur en materialen voor offshore wind, glasvezelnetwerken en waterstoftransitie komen grotendeels uit een internationale markt. Europese samenwerking en een internationale aanpak zijn belangrijk voor een succesvolle transitie. Minister Jetten onderschrijft dat Nederland internationale ambities heeft en spreekt al regelmatig over internationale energiediplomatie, en wil zorgen dat de Rotterdamse havens beschikken over terminals zodat klimaatneutrale energiedragers kunnen worden gelost (internationale waterstofhub).
- **Technologische vaardigheden en expertise:** voor alle ontwikkelingen zijn technologische innovaties en expertise vereist. Dit varieert van wetenschappelijk onderzoek (exploratieve/disruptieve innovatie hoofdzakelijk door wo-geschoold personeel) tot vakmensen op het gebied van energietechnologie, bouw en infrastructuur (exploratieve innovatie hoofdzakelijk door praktijkgericht personeel met technologische vaardigheden). Financiering, wet- en regelgeving en het betrekken van stakeholders zijn uitdagingen in alle sectoren (hoofdzakelijk hbo-geschoold personeel met een juridische en technische achtergrond).
- **Mogelijk concurrentie tussen ontwikkelingen:** omdat alle ontwikkeling vergelijkbare technologische expertise, ervaring en kennis vereisen, is het mogelijk dat er concurrentie ontstaat tussen diverse sectoren.
- **Breed scala aan arbeidsvraag, maar wel steeds meer standaardisering:** voor alle ontwikkelingen zijn verschillende arbeidskrachten nodig in verschillende fasen, variërend van engineering en ontwerp tot constructie, installatie, onderhoud en beheer. Op alle opleidingsniveaus ontstaat vraag in verschillende fasen van de ontwikkeling. In elke casus is een verschuiving zichtbaar van hoogopgeleide werkenden in ontwikkelingsfase naar lager opgeleide werkenden in uitvoeringsfase. Dit is een gevolg van de standaardisatie van de gehele werkwijze in de ketens.
- **Overheidsrol:** er is een belangrijke rol weggelegd voor de overheid die met behulp van subsidies en ondersteunende maatregelen de transitie naar waterstof, windenergie op zee, glasvezelnetwerken en aardgasvrijbouwen stimuleert en in de tijd kan plaatsen. Deze maatregelen kunnen worden gezien als het stimuleren van investeringen, het versnellen van implementatie, het creëren van een gunstig ondernemersklimaat, en het tijdig en ook in de tijd regisseren van activiteiten. Door de beschikbare subsidies en



fiscale regelingen vanuit de overheid krijgen toekomstige ondernemers een financiële prikkel om te investeren.

### 3.4.5 Conclusie historisch onderzoek

De conclusies worden verwoord door de vragen die centraal staan in dit hoofdstuk te beantwoorden.

#### ***Hoe verliepen recente technologische revoluties?***

De bevindingen tonen aan dat het proces van exploratie (het ontdekken van de technologie) naar exploitatie (het grootschalig implementeren van de technologie) een langdurige aangelegenheid is. Overheidsinterventies, zoals subsidies en minimumdoelstellingen, blijken hierbij cruciaal voor de haalbaarheid van de businesscase. Een voorbeeld hiervan is het feit dat het maar liefst 27 jaar duurde voordat het eerste Europese windpark kon concurreren met andere, minder duurzame technologieën. Evenzo heeft de uitrol van glasvezelnetwerken gedurende een langere periode stilgelegen toen het economisch minder goed ging. Transitieën lopen dus in de praktijk gedurende tientallen jaren en behoeven constant aandacht. Het is belangrijk om bij de doelstellingen voor de waterstoftransitie rekening te houden met eenzelfde tijdslijn, die zich uitstrekt van de initiële ontwerpfasen tot de ontwikkeling van een concurrerende markttechnologie. Dit kan bijdragen tot gericht beleid voor elke fase in de transitie, waarbij het van belang is dat de voortgang van de ontwikkelingen wordt geborgd.

#### ***Welke prikkels waren nodig om tot een positieve businesscase te komen?***

Technologische revoluties vinden voornamelijk plaats vanwege de motivatie om onze planeet te verduurzamen en een betere toekomst voor komende generaties te borgen. Hoewel dit het hoofddoel is, is een positieve businesscase essentieel om technologische revoluties te laten slagen en verschillende opties tegen elkaar af te wegen om tot een zo effectief mogelijke oplossing te komen. Verschillende prikkels zijn nodig om tot een positieve businesscase te komen en de uiteindelijke implementatie van nieuwe technologieën en toepassingen. Wat opvalt is dat er veel verschillend beleid is ingezet. Dit beleid varieert van bemoedigende prikkels tot verplichtende richtlijnen. Voorbeelden hiervan zijn bijvoorbeeld financieringsprogramma's, garantieleningen, Europese en nationale verplichtingen, richtlijnen en subsidies (zoals de SDE+, die destijds voor de onrendabele top voor hernieuwbare elektriciteit compenseert, en innovatieregelingen zoals de HER+, DEI+ en MOOI die middels innovatie de kostenefficiëntie van de opwekking van hernieuwbare energie willen vergroten). Al deze prikkels spelen een belangrijke rol in het tot stand komen van positieve businesscases. Zoals al in het landenonderzoek duidelijk wordt, werken overheden eraan om de waterstoftransitie met verschillende steunmaatregelen te faciliteren. Nationale steunmaatregelen zijn op dit moment vooral stimulerend. Europese richtlijnen, zoals een reductie van broeikasgassen van 55% en de Renewable Energy Directive, vormen een basis voor verplichtingen om een bepaalde hoeveelheid groene waterstof in te zetten in verschillende sectoren, waardoor schaal wordt gecreëerd. Daarbij ontwikkelt het beleid zich van stimulerend tot een combinatie van stimulerend en normstellend (wortel en stok).

#### ***Welke knelpunten op de arbeidsmarkt worden ervaren en hoe worden deze knelpunten geadresseerd?***

Het belangrijkste knelpunt is de schaarste van technisch geschoold personeel. Het gaat om breed inzetbaar personeel, op verschillende scholingsniveaus (van wo in de ontwerpfase, tot hbo en mbo in de aanlegfase en de onderhoudswerkzaamheden). Dit punt wordt op verschillende manieren geadresseerd. Zo wordt gebruik gemaakt van kennis en personeel uit het buitenland ter ondersteuning van verschillende transitieën. Een tweede manier

waarop de schaarste geadresseerd wordt is het bieden van aantrekkelijke arbeidsvoorwaarden om arbeidsaanbod te stimuleren. Zo blijkt dat de (primaire en secundaire) arbeidsvoorwaarden in onderzochte transitie sectoren vaak goed zijn. Ten derde wordt het belang van goede opleiding geadresseerd. Extra budget hiervoor wordt beschikbaar gesteld door de nationale en regionale overheid en richt zich niet op een bepaalde technologie maar op technische banen in het algemeen. Er bestaan bijvoorbeeld vouchers voor de ontwikkeling van medewerkers in de technische installatiebranche. Ook zijn er subsidies voor het stimuleren van leren en ontwikkelen in het mkb (SLIM-subsidieregeling), voor het volgen van scholingsactiviteiten (STAP-budget) en omscholingstrajecten naar technische beroepen. Daarnaast kunnen studiekosten van werknemers door werkgevers van de winstbelasting worden afgetrokken.

### 3.5 Beschrijving en afbakening van de waardeketen

Deze paragraaf gaat in op de vraag:

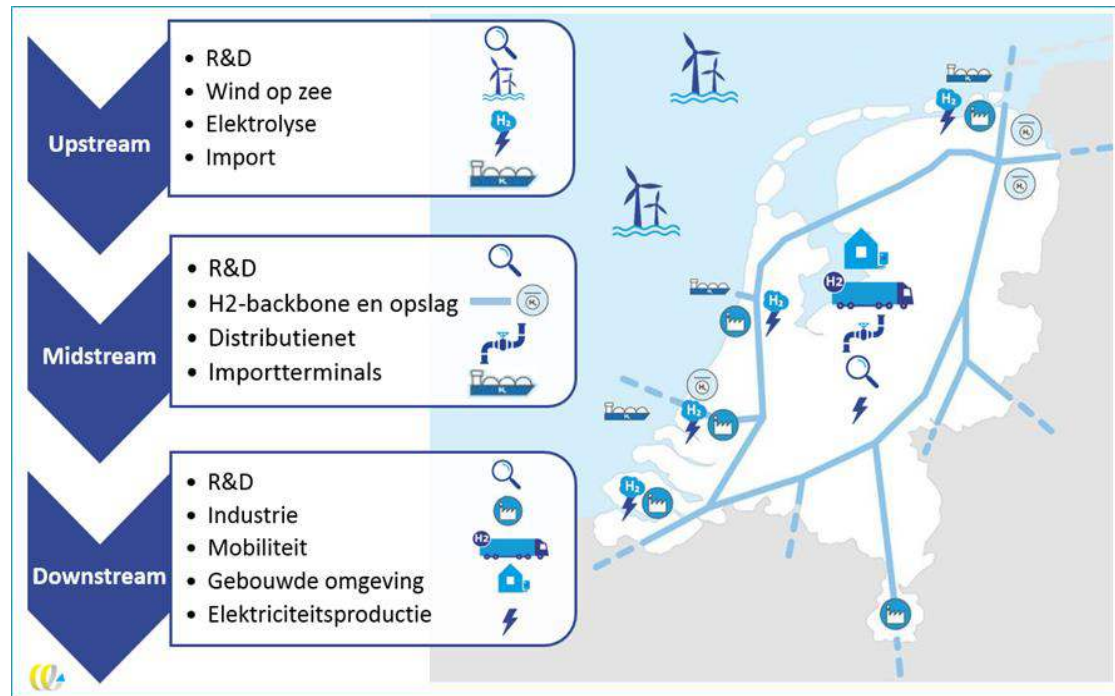
*Hoe ziet de groene/CO<sub>2</sub>-arme waterstofketen eruit in Nederland?*

#### 3.5.1 Waardeketen groene waterstof

Waterstofmoleculen zijn energiedragers die op verschillende manieren met energie geladen kunnen worden en tevens voor veel verschillende toepassingen ingezet kunnen worden. De energiebron van de huidige geconsumeerde waterstof (als primair of bijproduct) is fossiel. Het doel van de energietransitie is om deze bron te vergroenen en daarnaast additionele waterstof in het energiesysteem in te zetten om fossiele moleculen te vervangen. Voor Industriële clusters en havens is CO<sub>2</sub>-vrije waterstof een onmisbaar onderdeel van de verduurzamingsstrategie.

De waardeketen van groene waterstof kan opgesplitst worden in up-, mid- en downstream. Figuur 3 geeft de verschillende onderdelen van de waardeketen weer en tevens een regionale verdeling van activiteiten.

Figuur 3 - Waardeketen



Upstream wordt beschouwd als de elektrolyserplant, de koppeling aan de omliggende infrastructuur en de toeleveringsketen met betrekking tot de bouw van de plant. Import is beperkt tot faciliteiten in Nederland. Midstream(transport) wordt afgebakend door aanleg en beheer van pijpleidingen en opslag in de vorm van tanks en ondergrondse bodemreservoirs. Voor het eindgebruik van groene waterstof kunnen verschillende belangrijke industrieën worden beschouwd, waarbij waterstof als grondstof of brandstof kan worden gebruikt. Deze (toekomstige) industrieën gebruiken CO<sub>2</sub>-vrije waterstof voor de productie van groen staal, chemicaliën, meststoffen, en voor de productie van duurzame brandstoffen voor de luchtvaart en scheepvaart.

### Waterstof is nu al een belangrijke energiedrager en grondstof

Waterstof wordt in Nederland op grote schaal ingezet als grondstof in de (chemische) industrie. Nederland is na Duitsland zelfs de grootste producent van grijze waterstof in Europa<sup>7</sup>. Van de fasen van de waardeketen is momenteel alleen de downstreamtoepassing in de industrie aanwezig. Alle andere onderdelen zijn in ontwikkeling of vertegenwoordigen potentiële nieuwe activiteiten. Alle mid- en downstreamonderdelen vervangen activiteiten die voorheen door fossiele bronnen werden vervuld. De upstreamactiviteiten zijn nieuw.

<sup>7</sup> Ongeveer 10% van het Nederlandse aardgas wordt ingezet voor de productie van waterstof, met aanzienlijke CO<sub>2</sub>-emissies.



### 3.5.2 Regionale ontwikkelingen en type bedrijven

Figuur 4 geeft de landelijke waterstofinfrastructuur en de vijf Nederlandse industrieclusters weer. Op dit moment zetten verschillende regio's in op het ontwikkelen van waterstofketens. Naast Noord-Nederland wordt ook in onder andere Zeeland, Zuid-Holland en Noord-Holland (met de haven van Amsterdam) gewerkt aan een integrale aanpak.

Figuur 4 - Landelijke waterstofinfrastructuur en de vijf industrieclusters



Bron: (Ministerie van EZK, 2022).

#### Upstream

De productie van waterstof zal vooral, vanwege de aanlanding van Wind op zee (en de nabijgelegen industrieclusters) en het waterstofnet, plaatsvinden bij de havens. De importterminals zullen bij de grotere Nederlandse zeehavens gepland worden. De afname en productie van (groene) waterstof in de industrie zal vooral plaatsvinden in de vijf grote industrieclusters (Eemshaven, Rijnmond, Zeeland, Noordzeekanaal en Chemelot). Met uitzondering van Chemelot vallen deze industrieclusters in havengebieden.

De verwachting is dat, zeker in de periode tot 2030, de productie van waterstof vooral zal worden uitgevoerd door grote bedrijven. In het kader van de IPCEI-subsidieregeling voor de waterstofproductie door elektrolyse hebben de volgende bedrijven subsidie ontvangen: Shell, H2ermes B.V., Air Liquide Industrie B.V., H2-Fifty B.V., Ørsted Hydrogen Netherlands Holding B.V. en Engie Energie Nederland N.V.

### Maakindustrie

Voor de upstreamsector is de maakindustrie van groot belang. De maakindustrie verwerkt grondstoffen en materialen tot halffabricaten en producten. Een belangrijk onderdeel van de maakindustrie voor de waterstoftransitie zijn bedrijven die zich richten op de productie van (onderdelen voor) elektrolyzers. In Nederland zijn er ongeveer tien bedrijven die zich bezig houden met het ontwikkelen en produceren van elektrolyzers. Veel van deze bedrijven liggen in het oosten en zuiden van het land (onder andere Noord-Brabant, Gelderland en Overijssel). Het aantal bedrijven op dit gebied groeit snel. Een deel van de bedrijven dat zich richt op de productie van (onderdelen voor) elektrolyzers bevindt zich in de startupfase. Deze bedrijven zetten vooral hoger opgeleiden in om de ontwikkeling van elektrolyzers te realiseren. Wanneer bedrijven zich doorontwikkelen en op grotere schaal gaan produceren, zullen er meer mbo-geschoolden nodig zijn in de fabricage van elektrolyzers.

De maakindustrie wordt deels gekwantificeerd in de productiefase, waarbij de focus ligt op de productie van elektrolyzers (zie Paragraaf 4.2.2 voor meer informatie).

### Midstream en downstream

Faciliteiten voor de infrastructuur en opslag zijn naar alle waarschijnlijkheid door het hele land nodig. De nationale backbone is reeds in ontwikkeling en zal de belangrijkste producenten, afnemers en importfaciliteiten met elkaar verbinden. Een aantal delen van dit tracé dient nieuw te worden aangelegd, andere delen kunnen gebruik maken van de bestaande aardgastransportleidingen die worden voorzien van nieuwe compressorstations. Ook de consumptie van waterstof in de gebouwde omgeving, elektriciteit- en mobiliteitssector vindt door het hele land plaats. Zo kunnen vulstations voor de transportmarkt binnen de bestaande (vaar)weginfrastructuur ingepast worden, en kunnen bedrijfsterreinen voorzien worden van waterstoffaciliteiten.

Hoewel de regionale verdeling van de toekomstige waterstofketen erg onzeker is met aanzienlijke bandbreedtes kan de keten wel worden gerangschikt naar Nederland, industrieclusters en havens.

Tabel 4 - Regionale verdeling van onderdelen van de waardeketen van groene waterstof

Waardeketen	Categorie	Heel Nederland	Industrieclusters	Zeehavens
Up-, mid- en downstream	R&D	✓ Met name Randstad vanwege beschikbaarheid personeel		
Upstream	Wind op zee			✓
	Elektrolyse			✓
Midstream	Infrastructuur	✓		
	Importterminals			✓
	Opslag	✓		

Waardeketen	Categorie	Heel Nederland	Industrieclusters	Zeehavens
Downstream	Industrie		✓	
	Gebouwde omgeving	✓		
	Mobiliteit	✓ Onzeker omdat GO niet de meest voor de hand liggende keuze is om waterstof in te zetten		
	Elektriciteitsproductie	✓ Offshore windparken met basis in havens		

Voor de ontwikkelingen in de midstream is Gasunie aangesteld als verantwoordelijke partij voor het ontwikkelen en beheren van de landelijke infrastructuur. Bij de downstream-domeinen wordt vooral gekeken naar bedrijven die zich richten op de toepassingen in onder andere de industrie en mobiliteitssector. Dit kunnen zowel grote als mkb-bedrijven zijn.

We hebben interviews met zowel partijen in de up-, mid- als downstream afgenomen. Vrijwel allemaal geven ze aan contacten te onderhouden met verschillende opleidingsinstituten. De mate en intensiteit van samenwerking verschilt echter per bedrijf. Sommige bedrijven geven gastcolleges, andere zoeken actief naar stagiairs. Tevens is het beeld dat veel personeel binnen de bedrijven bereid is om zich om te scholen van gas(toepassingen) naar waterstof. De bereidheid is hoog, omdat waterstof als interessant, kansrijk en uitdagend wordt gezien.

### 3.5.3 Conclusie waardeketen

Hoewel Nederland de op één na grootste producent is van grijze waterstof in Europa, staat de groene waterstofketen in Nederland in de kinderschoenen (zie Paragraaf 3.5 voor meer informatie over vraag en aanbod van waterstof). Groene waterstof wordt gedefinieerd als waterstof geproduceerd door waterelektrolyse met behulp van hernieuwbare elektriciteit. De waardeketen van groene waterstof kan worden opgesplitst in upstream (import en lokale productie), midstream (transport en opslag), en downstream (eindgebruikers van groene waterstof in Nederland). Figuur 3 en Tabel 4 geven de regionale indeling van de verschillende delen van de waardeketen weer.

Mogelijke toepassingsgebieden van groene waterstof zijn industrie, mobiliteit, gebouwde omgeving en de elektriciteitsproductie. Op dit moment is, op relatief kleine schaal, alleen de downstreamtoepassing van groene waterstof in de industrie operationeel. Alle andere onderdelen zijn nog in ontwikkeling en worden veelal nog door fossiele bronnen ingevuld.

## 3.6 Scenario's

Om een beeld van de arbeidsvraag te krijgen, gaan we in op scenario's voor de Nederlandse energievoorziening en de rol die waterstof daarin speelt.

Nederland kent forse ambities op het gebied van (groene) waterstof. Op dit moment is er nog nauwelijks opgestelde elektrolysecapaciteit voor de productie van groene waterstof. In het Klimaatakkoord is een ambitie van 3 tot 4 GW in 2030 opgenomen; deze ambitie is tevens bekrachtigd in de routekaart waterstof. De routekaart waterstof heeft echter geadviseerd om dit te verdubbelen naar 6-8 GW. De ambitie blijft hetzelfde, maar het

ministerie van EZK kijkt wel naar mogelijkheden om deze ambitie in 2023 te verhogen naar 6-8 GW.

Investeringsbeslissingen voor de benodigde grootschalige elektrolyzers zijn er nog niet (op een enkele uitzondering na)<sup>8</sup>. Dit betekent dat de waterstofproductie een zeer steile opschalingscurve moet doorlopen om de beoogde rol in 2030 te vervullen. Dit heeft implicaties voor de vraag naar banen in de waardeketen voor waterstofproductie. In deze paragraaf verkennen we de mogelijke rol van waterstof in de energiemix van 2030 en daarna.

Alle scenario's die een klimaatneutrale economie nastreven, voorzien een toename van elektrificatie in verschillende sectoren (zoals industrie, gebouwde omgeving, transport). Naast elektrificatie zullen er in elk klimaatneutraal scenario tevens moleculen nodig zijn, in ieder geval voor de lastig te elektrificeren warmtevraag en deels als grondstof in de industrie. Waterstof kan tevens een rol spelen in de opslag van hernieuwbare energie en zo gebruikt worden voor energievraag op momenten of plekken wanneer of waar geen groene elektriciteit beschikbaar is. Waterstof of waterstofgebaseerde brand- en grondstoffen (Renewable fuels of non-biological origin (RFNBOs)), zoals groene ammoniak en e-fuels, kunnen deze rol op klimaatneutrale wijze vervullen. De mate waarin waterstof toegepast gaat worden in het energiesysteem is nog onzeker en hangt af van een veelvoud van factoren, zoals de concrete invulling van het beleid gericht op productie en afname van groene waterstof, de kosten en beschikbaarheid van groene waterstof en de structuur van de economie. Het is zeker dat de vraag naar groene waterstof zal toenemen, in Nederland, de EU en wereldwijd. De sterkste groei is voorzien rond 2030.

## II3050-scenario's

Om de rol van waterstof in het toekomstig energiesysteem van Nederland te bepalen, is er in dit onderzoek gekeken naar de Integrale Infrastructuurverkenning van de netbeheerders (II3050). II3050 is ontwikkeld in opdracht van de netbeheerders om de noodzakelijke transformaties ten behoeve van de verduurzaming van het energiesysteem in kaart te brengen. Hiervan is in maart 2023 een herziening gepubliceerd (Netbeheer Nederland, 2023). In deze studie zijn drie scenario's voor 2025, 2030 en 2035 opgenomen die overgaan in vier eindbeelden voor 2040 en 2050 waarbij een klimaatneutraal energiesysteem in 2050 het uitgangspunt is. De drie scenario's zijn: KA (klimaatambitie-scenario), IA (Internationale Ambitie-scenario) en ND (Nationaal Drijfveren-scenario).

- **KA:** het scenario klimaatambitie volgt zoveel mogelijk het bestaande, voorgenomen en geplande klimaatbeleid in Nederland en is gebaseerd op de KEV 2022 en het Regeerakkoord. In dit scenario wordt uitgegaan van een voortvarende uitvoering van het klimaatprogramma uit het Regeerakkoord, waarbij het Rijk krachtig stuurt en regionale- en sectorale ontwikkelingen zoals de Regionale Energiestrategieën (RES), Nationaal Actieprogramma Laadinfrastructuur (NAL), en Cluster Energie Strategieën (CES) bepalend zijn. Waar nodig om de energie- en klimaatdoelstellingen te halen wordt geanticipeerd op aanvullend beleid. De plannen en ambities raken alle sectoren in Nederland, alle sectoren doen mee en er wordt een brede mix van technologieën gebruikt.
- **IA:** het Internationale Ambitie-scenario kenmerkt zich door een sterke mondiale samenwerking en vrijhandel waarbij beleid en maatregelen veelal internationaal worden afgestemd en vervolgens worden vertaald naar nationaal niveau. De vrije marktwerking leidt tot een relatief hoog importaandeel, terwijl Nederland een

<sup>8</sup> Shell heeft FID genomen voor 200 MW rond 2026 (Holland Hydrogen 1) en in het kader van de IPCEI-subsidieregeling zijn in totaal zeven projecten gehonoreerd die optellen tot 1.150 MW.

handelsgeoriënteerde en industriële economie blijft die fungeert als doorvoerland voor biobrandstoffen, CO<sub>2</sub> en waterstof. Dit scenario richt zich op duurzame gassen in combinatie met hybride warmtepompen (gebouwde omgeving), biobrandstoffen (mobiliteit), en CCS (industrie).

- **ND:** in het scenario Nationale Drijfveren wordt de energietransitie sterk gestuurd door de staat. In dit scenario streeft Nederland naar een hoge mate van zelfvoorzienendheid door onder andere het stimuleren van aanzienlijke hoeveelheden eigen duurzame energieopwekking op land en zee en een transitie naar circulaire economie. Wind op zee wordt aangevuld met zon-pv en wind op land. Er is een sterke focus op elektrificatie in alle vraagsectoren, terwijl energiebesparing en efficiëntieverbeteringen de totale energievraag terugdringen. De grote rol van elektriciteit in het energiesysteem en de toenemende weersafhankelijkheid van vraag en aanbod vormen sterke stimulansen voor de opkomst van verschillende flexibiliteitsopties die helpen om het energiesysteem in balans te brengen.

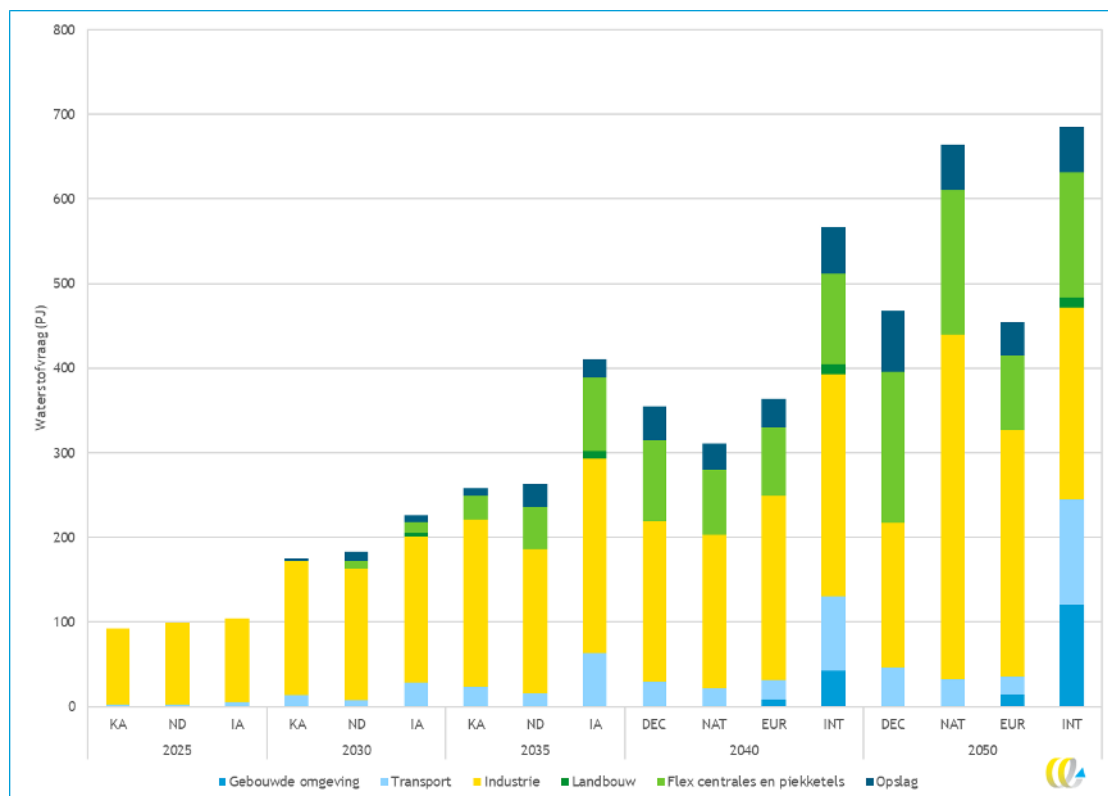
Het **scenario Klimaatambitie (KA)** is het centrale scenario op basis van bestaand en voorgenomen beleid, aangevuld met geagendeerd beleid uit het Coalitieakkoord.

Het **scenario Nationale Drijfveren (ND)** is flankerend en zet nog sterker in op elektrificatie en duurzame opwek op land. Het **scenario Internationale Ambitie (IA)** is ook flankerend, maar legt meer de nadruk op duurzame gassen (groengas en waterstof). De ND- en IA-scenario's voldoen wat betreft waterstofconsumptie aan de eisen van REDIII (42% groene waterstof in de industrie en 1% in transport) (Netbeheer Nederland, 2023).

### *Vraag naar waterstof per sector*

Momenteel wordt er alleen grijze waterstof (uit aardgas) gebruikt en is de industrie de enige sector. Dit gebruik ligt rond de 80 PJ. De vraag naar waterstof neemt in alle scenario's toe. De verschillende energiescenario's geven aan dat in een volledig klimaat-neutrale energievoorziening gasvormige energiedragers een belangrijke rol vervullen. In Figuur 5 is de totale waterstofvraag (blauw en groen) per sector en scenario weer-gegeven. Blauwe waterstof wordt geproduceerd uit aardgas en de CO<sub>2</sub> wordt afgevangen en opgeslagen, groene waterstof wordt geproduceerd uit hernieuwbare elektriciteit. De industrie is en blijft als sector de grootste afnemer. In alle scenario's speelt ook waterstof in transport en waterstof voor flex- en pieksetels (dit zijn systemen voor de flexibele elektriciteits- en warmteproductie, voor momenten dat er een piek in de vraag optreedt) een rol. Afhankelijk van het scenario kan de gebouwde omgeving in 2050 een significante vraag vertegenwoordigen. Bij de waterstofconsumptie - zeker richting 2030 - zijn Europese beleidsdoelen (vooral de REDIII) leidend. Mogelijk zal de waterstofvraag lager uitvallen als de EU-beleidsdoelen daarmee gehaald kunnen worden.

Figuur 5 - Waterstofvraag per sector in II3050-2 scenario's



Bron: (Netbeheer Nederland, 2023).

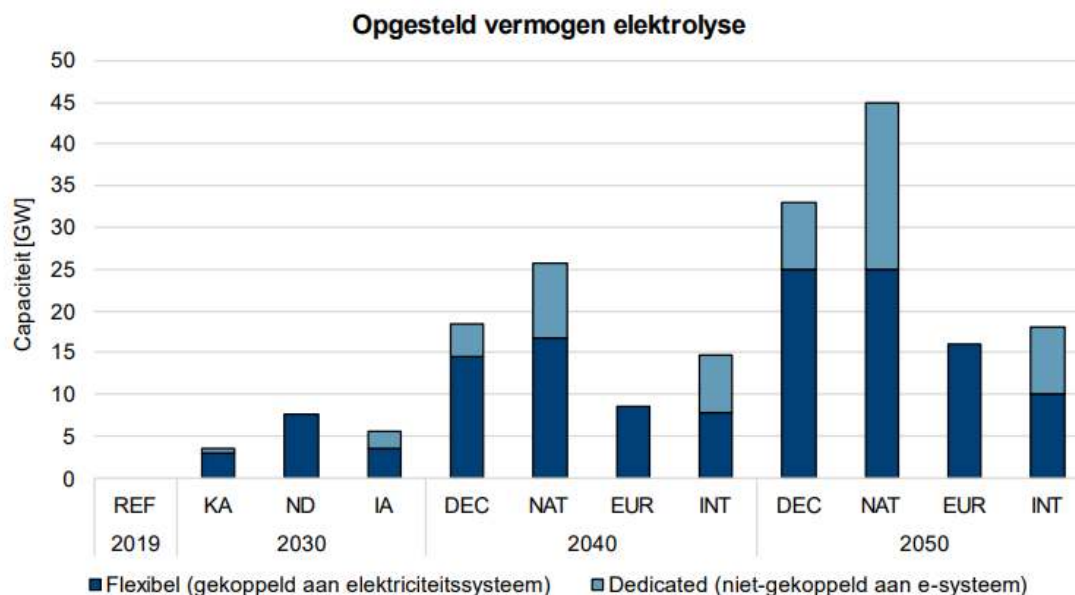
Vanaf nu tot 2025 zal de vraag stijgen naar rond de 100 PJ en richting 2030 naar ongeveer 200 PJ. Dit betreft grofweg een verdubbeling van de huidige vraag. Hiernaast komen er vanaf 2027 ook import- en exportstromen op gang en richting 2040 gaat dit over grote volumes van mogelijk honderden PJ, zoals weergegeven in Figuur 7. De hoogste scenario's in 2050 (nationaal leiderschap en internationale handel) naderen de 700 PJ, maar ook de twee lagere eindbeelden in 2050 (decentraal en Europese sturing) voorzien rond de 450 PJ voor waterstofconsumptie.

### Aanbod van waterstof per kleur

Afhankelijk van het scenario zal de waterstofvraag dus sterk toenemen naar rond de 200 PJ in 2030. Een deel hiervan wordt binnenlands geproduceerd, maar er vindt ook import en export plaats. Het binnenlands opgesteld vermogen ligt in de II3050-scenario's tussen de circa 4 en 7 GW in 2030 (het Klimaatakkoord bevatte een doelstelling van 3-4 GW), zie Figuur 6. Dit kan als vrij ambitieus worden aangemerkt, maar is niet onmogelijk.



Figuur 6 - Opgesteld vermogen elektrolyse volgens scenario's in II3050

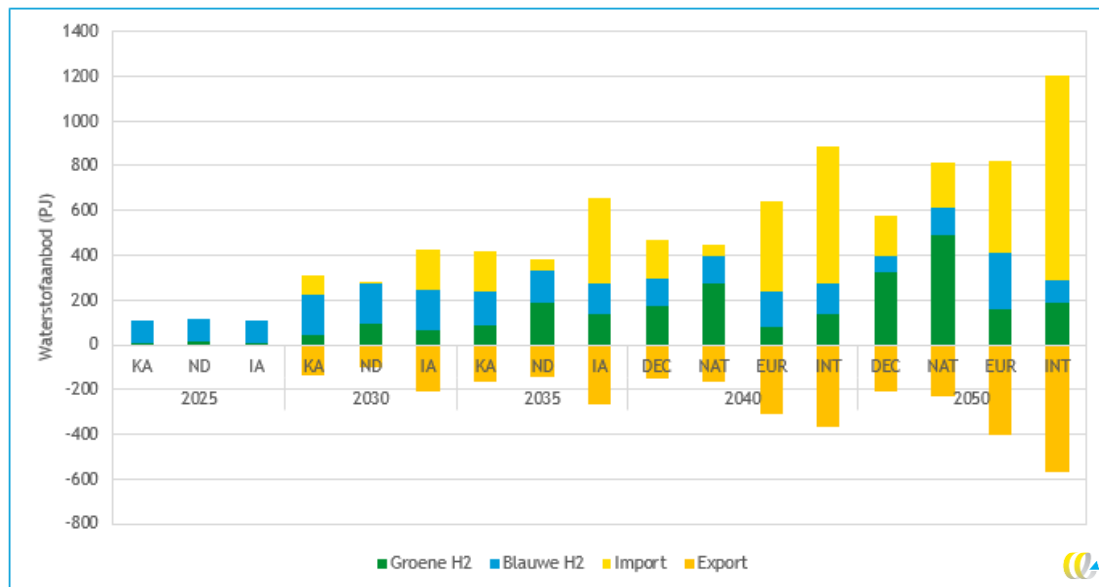


Bron: (Netbeheer Nederland, 2023).

Ondanks het hogere opgestelde vermogen elektrolyse dan in het Klimaatakkoord, is de in Nederland geproduceerde waterstof volgens II3050 in eerste instantie vooral blauw (aardgas met CCS). Hierbij moet worden opgemerkt dat decarbonisatie van bijproductgassen ook worden aangeduid als blauwe waterstof<sup>9</sup>. Na 2030 wordt er steeds meer groene waterstof geproduceerd, maar blauwe waterstof blijft tot in 2050 een rol spelen. In Figuur 7 is de verhouding blauw/groen en import/export weergegeven. Groen, blauw en import opgeteld, met export in mindering gebracht komt overeen met de consumptievolumes uit Figuur 5.

<sup>9</sup> Dit omvat gedecarboniseerde waterstof uit krakers en raffinaderijen. Dit houdt in dat stookgassen langs een waterstoffabriek worden geleid waarbij ze worden gesplitst in waterstof en CO<sub>2</sub>. De CO<sub>2</sub> wordt afgevangen en ondergronds opgeslagen (CCS) en de waterstof wordt terug in de fabriek gebruikt ter vervanging van het stookgas, om te voorzien in de warmtebehoefte van de processen.

Figuur 7 - Waterstofaanbod per II3050-2 scenario's opgedeeld in kleur, import en buitenlandse vraag



Uit de figuur blijkt dat blauwe waterstof, en dus de daarbij behorende infrastructuur, in alle scenario's een rol blijft spelen tot in (en waarschijnlijk na) 2050. De hoeveelheid binnenlands geproduceerde groene waterstof verschilt sterk per scenario. Het valt ook op dat al vanaf 2030 grote volumes waterstof verwacht worden voor import en export. In regio's waar goedkoop op grote schaal hernieuwbare elektriciteit kan worden opgewekt, zoals in het Midden-Oosten, Noord-Afrika (en Zuid-Europa) zijn er kansen een exportsector voor waterstof op te bouwen. Om deze stromen te importeren moet de capaciteit van de infrastructuur en import terminals op orde te zijn.

### 3.6.1 Conclusie scenario's

Waterstof is niet nieuw in de Nederlandse energievoorziening. Grijze waterstof wordt in Nederland op grote schaal gebruikt als grondstof in de chemische industrie. Nederland is de op een na grootste producent van grijze waterstof in Europa. De grote bestaande industriële markt zal klimaatneutraal moeten worden gemaakt.

Er zijn drie scenario's: KA (Klimaatambitie-scenario), IA (Internationale Ambitie-scenario) en ND (Nationaal Drijfveren-scenario). De scenario's voor 2030 die streven naar een klimaatneutraal energiesysteem in 2050 voorzien allemaal een sterke groei van de productie van groene waterstof. Van een verwaarloosbare hoeveelheid nu naar tussen de 45 en 93 PJ in 2030. Daarnaast gaan ook alle scenario's uit van import (en export), waardoor consumptie in 2030 rond de 200 PJ komt te liggen. De consumptie van groene waterstof zal in 2030 vrijwel volledig plaatsvinden in de industrie (waar het grijze waterstof vervangt). Verder richting 2050 zullen ook andere sectoren groene waterstof gaan gebruiken, maar de industrie blijft in elk scenario de belangrijkste afnemer.

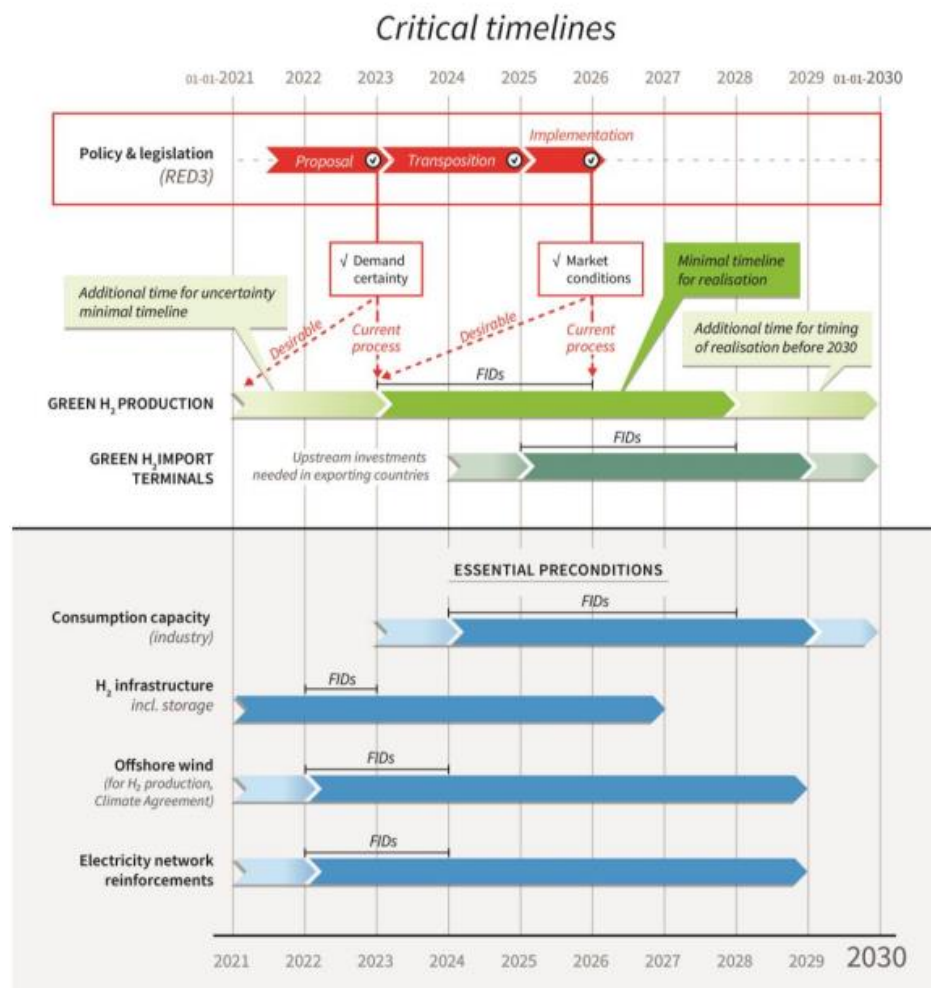


### 3.7 Tijdspladen

De meeste assets in de waterstofketen vergen behoorlijke tijdspladen alvorens ze operationeel zijn, hetgeen ook gevolgen heeft voor de inzet van personeel. De belangrijkste doelstellingen voor 2030 komen uit de REDIII, die momenteel in de laatste fase van Europese onderhandelingen is. De consumptieverplichting van 42% in 2030 voor groene waterstof in de industrie zorgt hierin voor de sterkste impuls.

Zoals blijkt uit II3050-2 is de industrie ook verreweg de belangrijkste partij voor de vraag naar waterstof. Op basis van het aanvankelijke voorstel (50% verplichting) hebben CE Delft en TNO in overleg met industriële partijen een tijdspladen voor noodzakelijke investeringen opgesteld (CE Delft & TNO, 2022). Het volledige tijdspladen van een project omvat voorbereiding voor de investering, vergunningen en procedures (zoals een MER), de investeringsbeslissing en de daadwerkelijke bouw. Voor elk onderdeel uit de waardeketen zijn enkele jaren nodig om het te realiseren. Uit dit tijdspladen blijkt dat de uiteindelijke implementatie van de REDIII (en dus volkomen zekerheid omtrent vraag en marktordening) weinig ruimte biedt om noodzakelijke projecten op tijd te realiseren. Dit is weergegeven in Figuur 8.

**Figuur 8 - Kritieke tijdspladen voor investeringen (Final Investment Decisions, FIDs) ten behoeve van groenewaterstofconsumptie in de industrie voor 2030**



De balken geven de doorlooptijden per onderdeel weer, dit is inclusief vergunningen, voorbereiding en daadwerkelijke bouw die na de FID plaatsvindt (CE Delft & TNO, 2022).



Uit Figuur 8 blijkt dat de lange doorlooptijden van investeringen nopen tot spoedige beslissingen en een gecoördineerde aanpak. De belangrijkste conclusie uit de figuur is dat realisatie van noodzakelijke projecten veel tijd in beslag neemt. Hierdoor komt zekerheid omtrent de vraag naar groene waterstof evenals de essentiële marktvoorwaarden (certificering, toezichthouder, handelssysteem) eigenlijk te laat om de definitieve investeringsbeslissingen voor de noodzakelijke projecten tijdig te nemen. Daarbij kunnen de krappe doorlooptijden geen additionele vertraging gebruiken als gevolg van knelpunten op de arbeidsmarkt. Uit de figuur blijkt immers dat er na de FID's nog significante tijd nodig is om te projecten operationeel te laten worden. Hoewel de figuur gebaseerd is op de eis van 50% groene waterstof, biedt de nieuwe eis van 42% in 2030 en 60% in 2035 slechts beperkte extra ruimte.

## Beperkende factoren

Er zijn verschillende factoren die bepalend zijn voor het tempo waarin waterstofprojecten kunnen worden gerealiseerd. Er kwamen de volgende beperkende factoren in de afgenomen interviews naar voren:

- **Arbeidsmarktkrapte:** krapte op mbo-niveau voor de constructie van de waterstofprojecten zelf.
- **Infrastructuur:** vertragingen die worden opgelopen door arbeidsmarktkrapte bij de realisatie van de waterstofinfrastructuur (bijvoorbeeld bij de aanleg van pijpleidingen door Gasunie).
- **Stikstofproblematiek:** deze problematiek kan vertraging opleveren bij de realisatie van waterstofprojecten.
- **Vergunningverlening:** lange doorlooptijden bij vergunningverlening voor waterstofprojecten in het algemeen door arbeidstekorten bij de vergunningverlener (bijvoorbeeld de omgevingsdienst).
- **Financiering:** toegenomen kosten door hoge energieprijzen en inflatie kunnen voor financieringsproblemen zorgen bij de realisatie van toekomstige waterstofprojecten.
- **Realisatie hernieuwbare energie:** door arbeidstekorten kan ook te realiseren hernieuwbare energie vertraging opleveren, wat gevolgen heeft voor de te produceren (groene) waterstof.

### 3.7.1 Conclusie tijdspaden

Om de groenewaterstofproductiecapaciteit operationeel te hebben in 2030, is uiterlijk 2026 de laatste investeringsbeslissing nodig. Import biedt een iets ruimere marge voor 2030, maar bij import is het ook van belang dat buitenlandse productiecapaciteit tijdig gerealiseerd is en voldoet aan de duurzaamheidscriteria. Voor de essentiële voorwaarden om de consumptie van groene waterstof mogelijk te maken zijn investeringsbeslissingen al voor 2026 nodig. Andere eindgebruikers (in 2030 vooral de transportsector) vereisen voor consumptie minder kapitaalintensieve assets en minder tijdrovende procedures (en ook beperktere volumes).

Er is een aantal factoren die van invloed zijn op het tempo waarin waterstofprojecten worden gerealiseerd, zoals de arbeidsmarktkrapte, aanleg van infrastructuur, stikstofproblematiek, vergunningverlening, financiering en de realisatie van hernieuwbare energie. Er is gezien de kritische doorlooptijden weinig speelruimte om vertragingen op te vangen.

## 3.8 Conclusie

In dit hoofdstuk geven we antwoord op de volgende vragen:

### ***Wat kunnen we leren van wat er in het buitenland gebeurt?***

In het onderzoek is gekeken naar Frankrijk, Duitsland en België. Uit de analyse is gebleken dat iedere lidstaat de waterstoftransitie op een eigen manier aanvliegt. Nederland laat zich meer vergelijken met Duitsland en Frankrijk, aangezien ze alle drie een productiedoel hebben (Duitsland en Frankrijk hebben echter wel een hogere taakstelling). België zet vooral in op de in- en doorvoer van waterstof.

In alle vier de landen worden de industrie en de transport als de belangrijkste sectoren gezien voor het gebruik van (groene) waterstof. België kijkt ook naar de elektriciteitssector en gebouwde omgeving en Duitsland naar warmte en infrastructuur.

België, Duitsland en Frankrijk geven alle drie aan dat er knelpunten op de arbeidsmarkt zijn en verwachten ook in de toekomst krapte. Frankrijk beschrijft in welke beroepen naar verwachting krapte zal optreden; België en Duitsland zijn hierin minder concreet. Ook op het gebied van oplossen van knelpunten loopt Frankrijk voorop dankzij verschillende programma's die specifiek ontwikkeld zijn om een koppeling te leggen tussen opleidingen en verschillende sectoren waarin waterstof zal worden toegepast. België en Duitsland hebben hiertoe nog geen concrete plannen. Naast concrete programma's om opleidingen en sectoren aan elkaar te koppelen wordt een aantal interventies genoemd om voldoende gekwalificeerd arbeidsaanbod te creëren. Voorbeelden zijn het opzetten van onderzoeksinstellingen en competentiecentra, cross-sectorale opleidingsplatformen en samenwerking met buitenlandse kennis- en onderwijsinstellingen.

### ***Zijn er marktontwikkelingen uit het verleden in andere sectoren waar inzichten aan ontleend kunnen worden? Welke parallellen zijn te trekken?***

De drie onderzochte marktontwikkelingen uit het verleden, Wind op zee, glasvezel-netwerken en aardgasvrije bouw, laten zien dat het proces van exploratie naar exploitatie lang duurt, soms zelfs decennia (glasvezel). Dit geeft ook ruim de tijd om nieuwe eisen vanuit de arbeidsmarkt door te vertalen naar een nieuwe Human Capital Agenda.

De voorziene tijdspaden voor de transitie naar een waterstofeconomie zijn echter kort en strikter, en geven minder aanpassingstijd voor de arbeidsmarkt.

Om de ontwikkelingen te laten slagen, zijn overheidsinterventies cruciaal voor het tot stand komen van een positieve businesscase en het consequent blijven sturen op realisatie van doelen. Zowel bemoedigende prikkels als verplichtende richtlijnen zijn van belang om transities te realiseren. Daarnaast is sprake geweest van schaarste aan breed inzetbaar technisch personeel op verschillende opleidingsniveaus. Om dit knelpunt op te lossen, is onder andere gebruik gemaakt van kennis en personeel uit het buitenland, het inzetten van aantrekkelijke (primaire en secundaire) arbeidsvoorwaarden en het investeren in goede opleidingen werkenden.

### ***Hoe zien de groene/CO<sub>2</sub>-arme waterstofketens eruit in Nederland?***

De waardeketen van groene waterstof kan worden opgesplitst in upstream (import en lokale productie), midstream (transport en opslag) en downstream (eindgebruikers van groene waterstof in Nederland). Hoewel Nederland de op één na grootste producent is van grijze waterstof in Europa, staat de groenewaterstofketen in Nederland nog in de kinderschoenen. Mogelijke toepassingsgebieden van groene waterstof zijn de industrie, mobiliteit, gebouwde omgeving en elektriciteitsproductie. Op dit moment is, op relatief kleine schaal, alleen de downstreamtoepassing van groene waterstof in de industrie aanwezig.

Voor de keten is de maakindustrie tevens van belang. De maakindustrie verwerkt grondstoffen en materialen tot halffabricaten en producten, zoals (onderdelen voor) elektrolyzers. Veel van deze bedrijven liggen in het oosten en zuiden van Nederland (onder andere Noord-Brabant, Gelderland en Overijssel) en het aantal neemt steeds meer toe. Vooralsnog bevinden veel van deze bedrijven zich in de startupfase.

***Welke (type) bedrijven zijn betrokken op verschillende plekken in de keten?***

De productie van waterstof zal, zeker in de periode tot 2030, vooral worden uitgevoerd door een beperkt aantal grote spelers in de up- en midstreamketen. De verwachting is dat in eerste instantie ook grote bedrijven in de industriesector actief zullen zijn in de downstreammarkt. Naarmate de up- en midstream meer volwassen wordt, zal het aantal toepassingen in de downstreammarkt verder gaan toenemen. Dit zal dan ook breder gaan dan alleen de industrie en kan worden opgepakt door zowel grote als mkb-bedrijven. Het is echter op dit moment niet mogelijk om een specifiek beeld te schetsen over de toekomstige toepassingen in de downstream.

Hoewel de regionale verdeling van de toekomstige waterstofketen erg onzeker is, kan de keten wel worden gerangschikt naar heel Nederland (de ontwikkelingen spelen of zijn nodig in het hele land), industrieclusters en havens. Waarbij de upstreamactiviteiten vooral zullen plaatsvinden in de havens, de midstreamactiviteiten door heel Nederland en de downstreamactiviteiten (in eerste instantie) in industrieclusters. Hoewel de verdeling vooral voor na 2030 relevant is als de waterstofeconomie een vlucht neemt, is deze ook relevant voor regionale verdeling van waterstofinvesteringen.

***Welke scenario's kunnen gebruikt worden om de verwachte toekomstige scope in kaart te brengen?***

Voor de scenario's is aangesloten bij de integrale infrastructuurverkenning van de netbeheerders (II3050-scenario's). In deze verkenning zijn drie verschillende scenario's opgesteld. In alle scenario's wordt uitgegaan van een sterke groei van de productie van groene waterstof, variërend van een verwaarloosbare hoeveelheid nu naar tussen de 45 en 93 PJ in 2030. Daarnaast wordt ingezet op import en export. De verwachte consumptie in 2030 ligt rond de 200 PJ en zal vooral plaatsvinden in de industrie (waar groene waterstof grijze waterstof vervangt).

# 4 Vraagruaming

## 4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk geven we een kwantitatief beeld van de benodigde arbeidsmarkt-kwalificaties en opleidingsniveaus voor de waterstoftransitie. Op basis van de investeringen per onderdeel van de waardeketen, gebaseerd op de scenario's uit Paragraaf 3.5, bepalen we de directe vraag naar arbeid en specifieke arbeidsmarkt- en opleidingskwalificaties<sup>10</sup>. Hierbij kijken we naar de periode tot 2030. Meer informatie over de gehanteerde aannames en achterliggende kengetallen is te vinden in Bijlage C.

Dit hoofdstuk geeft antwoord op de volgende vragen:

- Hoe vertalen de scenario's zich naar een verwachte toekomstige arbeidsvraag? (Paragraaf 4.3).
- Om welke beroepen gaat het en wat voor kennis en welke vaardigheden zijn nodig? (Paragraaf 4.4).

## 4.2 Scenario's en fasen

### 4.2.1 Scenario's

Om de rol van waterstof in het toekomstig energiesysteem van Nederland te bepalen, is er voor dit rapport gekeken naar de Integrale Infrastructuurverkenning van de netbeheerders (II3050). II3050 is ontwikkeld in opdracht van de netbeheerders om de noodzakelijke transformaties ten behoeve van de verduurzaming van het energiesysteem in kaart te brengen. Hiervan is in maart 2023 een herziening gepubliceerd (Netbeheer Nederland, 2023). In deze studie zijn drie scenario's voor 2025, 2030 en 2035 opgenomen die overgaan in vier eindbeelden voor 2040 en 2050 waarbij een klimaatneutraal energiesysteem in 2050 het uitgangspunt is. Bij het opstellen van het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE) is ook gebruik gemaakt van deze scenario's. De drie scenario's zijn: KA (Klimaatambitie-scenario), IA (Internationale Ambitie-scenario) en ND (Nationaal Drijfveren-scenario). Meer informatie over deze scenario's is te vinden in Paragraaf 3.5.

Om de gewenste hoeveelheden groene waterstof mogelijk te maken, zijn forse investeringen nodig in zowel binnenlandse productie-installaties (4-7 GW opgesteld vermogen elektrolyse) als in importfaciliteiten. Wind op zee, hoogspanningsinfrastructuur (en netverzwaring), een waterstofnetwerk en capaciteit voor het consumeren van groene waterstof in industriële processen zijn allemaal achterliggende elementen die op orde dienen te zijn voor 2030.

---

<sup>10</sup> In deze studie zijn de cijfers afgerond op honderdtallen, hierdoor kan er soms sprake zijn van afrondingsverschillen.

Tabel 5 - Opgesteld vermogen, waterstofvraag en investeringen infra/opslag tot en met 2030 per scenario

	Eenheid	Klimaatambitie-scenario	Nationaal Drijfveren-scenario	Internationale ambitie-scenario
Opgesteld vermogen elektrolyse	GW	4	7,5	5,5
Totale waterstofvraag energetisch industrie	TWh	41,3	39,3	42
Totale waterstofvraag transport	TWh	3,7	2,1	7,9
Totale waterstofvraag gebouwde omgeving	TWh	0	0	0
Totale waterstofvraag landbouw	TWh	0	0	1,2
Infrastructuur backbone en importfaciliteiten	€	2,5 miljard	2,5 miljard	2,5 miljard
Opslag	€	315 miljoen	315 miljoen	315 miljoen

## 4.2.2 Fasen

Op basis van de cumulatieve investeringen kan voor verschillende sectoren de arbeidsvraag worden afgeleid. In deze studie geven we de cumulatieve arbeidsvraag in de periode 2024-2030 weer. Om te kijken naar de omvang van de toekomstige arbeidsvraag in de verschillende scenario's maken we gebruik van het werkgelegenheidsmodel van CE Delft ([Bachus, 2019](#)) (CE Delft, 2022). Dit model geeft de directe (bruto-)vraag naar arbeid weer als gevolg van investeringen in waterstof. We maken hierbij een onderscheid tussen de vraag naar arbeid in de up-, mid- en downstreamfasen van de keten.

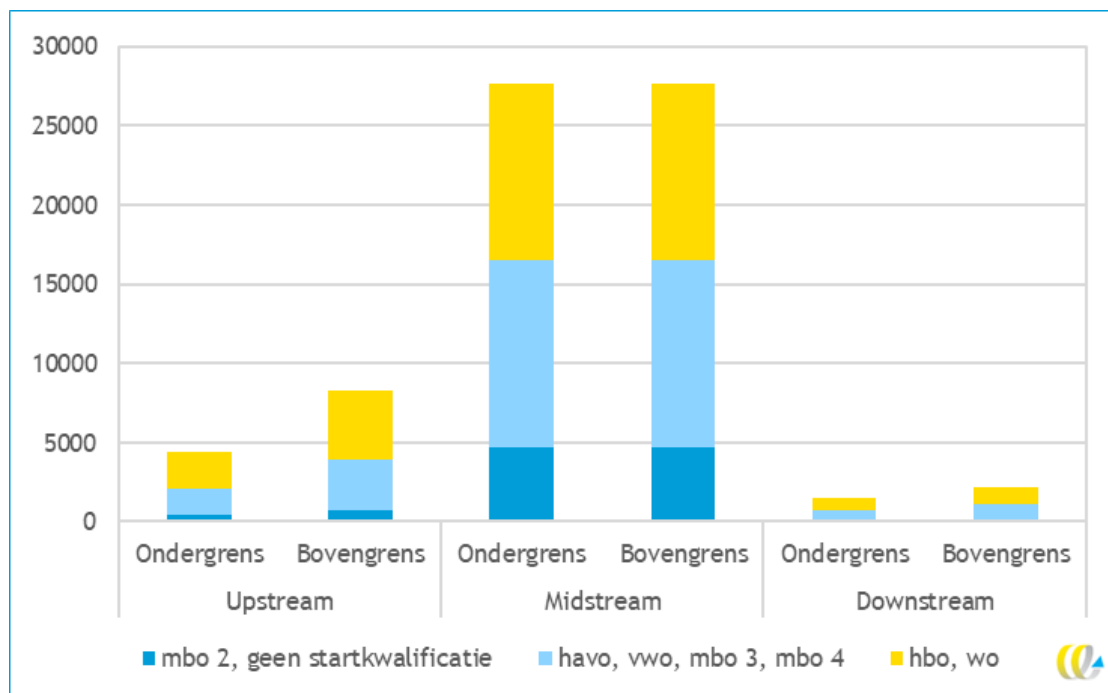
De **onderzoek & ontwikkelingsfase** richt zich op de R&D van waterstof. Een deel van de investeringen, grof geschat 5-10% van het totale investeringsbedrag, gaat naar R&D om innovaties voor grootschalige toepassing van (groene) waterstof te realiseren.

De **productiefase** richt zich op de productie van de benodigde onderdelen, bijvoorbeeld elektrolyzers, waterstof cv-ketels of leidingenopslagtanks. De maakindustrie valt onder deze fase. De **transport & installatiefase** houdt zich bezig met het transport van de productie-onderdelen die aangeleverd moeten worden voor de installatie en de daadwerkelijke installatie van de producten/infrastructuur. De **operatie & onderhoudsfase** houdt zich bezig met het operationeel houden van het waterstofnetwerk en de productie van waterstof.

## 4.3 Totale directe vraag naar arbeid

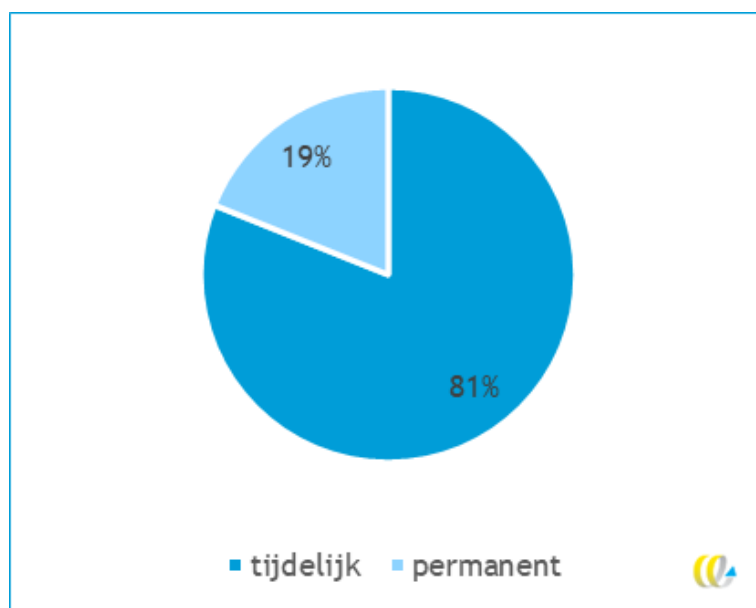
De totale cumulatieve directe vraag naar arbeid in de periode 2024-2030 ligt tussen de ruim 33.000 en 38.000 fte. Het grootste deel vindt plaats midstream. Deze aantallen zijn in zowel de boven- als ondergrens gelijk, omdat dezelfde investeringen gedaan worden. Onderstaande figuur geeft de cumulatieve directe vraag naar arbeid per onderdeel van de waardeketen en per opleidingsniveau weer.

Figuur 9 - Totale cumulatieve directe vraag naar arbeid in de periode 2024-2030



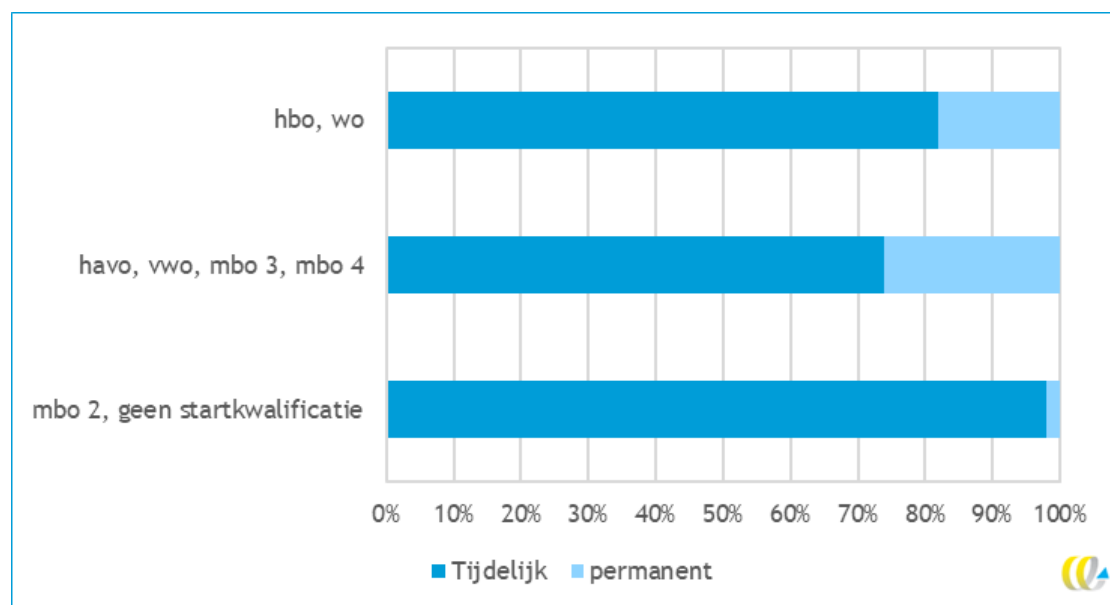
Het model maakt onderscheid tussen tijdelijke banen (voor een korte periode voor bijvoorbeeld installatie van de asset of transport van de energiedrager) en permanente banen (levensduur van de asset). In de bovengrens kan de directe vraag naar arbeid worden onderverdeeld in bijna 31.000 fte tijdelijke banen en ruim 7.000 cumulatieve permanente banen (jaarlijks ongeveer 1.000 fte).

Figuur 10 - Totale cumulatieve directe vraag naar arbeid 2024-2030, gesplitst naar tijdelijk en permanent



Figuur 11 tevens een uitsplitsing naar tijdelijk en permanent weer, alleen dan vanuit de opleidingsniveaus.

Figuur 11 - Totale cumulatieve directe vraag naar arbeid 2024-2030, uitgesplitst naar percentage tijdelijk en permanent



## 4.4 Beroepen en opleidingsniveaus

### 4.4.1 Upstream

Bij de upstreamketen gaan we uit van het benodigde opgestelde vermogen van elektrolyzers in 2030. In de scenario's varieert het opgesteld vermogen in 2030 tussen 4 en 7,5 GW.

Tabel 6 - Directe vraag naar arbeid per scenario

Scenario	Opgesteld vermogen	Investeringen	Cumulatieve tijdelijke fte 2024-2030	Cumulatieve permanente fte 2024-2030
Klimaatambitie	4 GW	€ 2,76 miljard	3.000	1.400
Nationale drijfveren	7,5 GW	€ 5,175 miljard	5.700	2.700
Internationale ambitie	5,5 GW	€ 3,795 miljard	4.200	2.000

In de volgende subparagrafen geven we de directe vraag naar arbeid in de vier verschillende fasen weer. Hierbij geven we zowel de boven- als ondergrens weer (respectievelijk scenario Nationale Drijfveren en scenario Klimaatambitie).

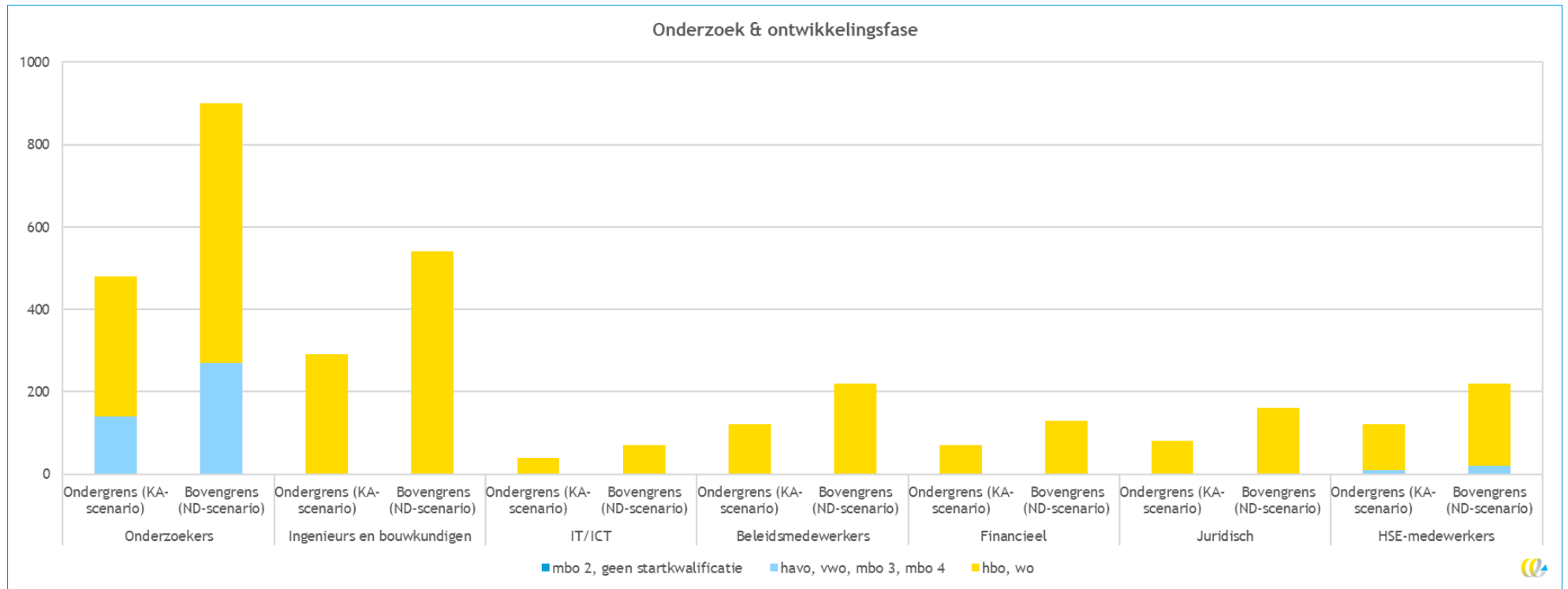


## Onderzoek en ontwikkeling

Voor de grootschalige toepassing van (groene) waterstof zijn innovaties nodig. Zo moet elektrolyse opzichzelfstaand worden verbeterd, de toepassing in de energiemarkt moet rendabel worden en er moet efficiënte financiering worden ontwikkeld. Hiervoor zijn onderzoekers, ingenieurs, juristen en financieel experts nodig. De ICT-sector is van belang voor de ontwikkeling van soft- en hardware en de veiligheidsexperts (HSE-medewerkers) zijn onder andere bouwkundigen die bouwinstallaties of veiligheidsvoorschriften controleren en opstellen. Ook beleidsmedewerkers spelen een rol.



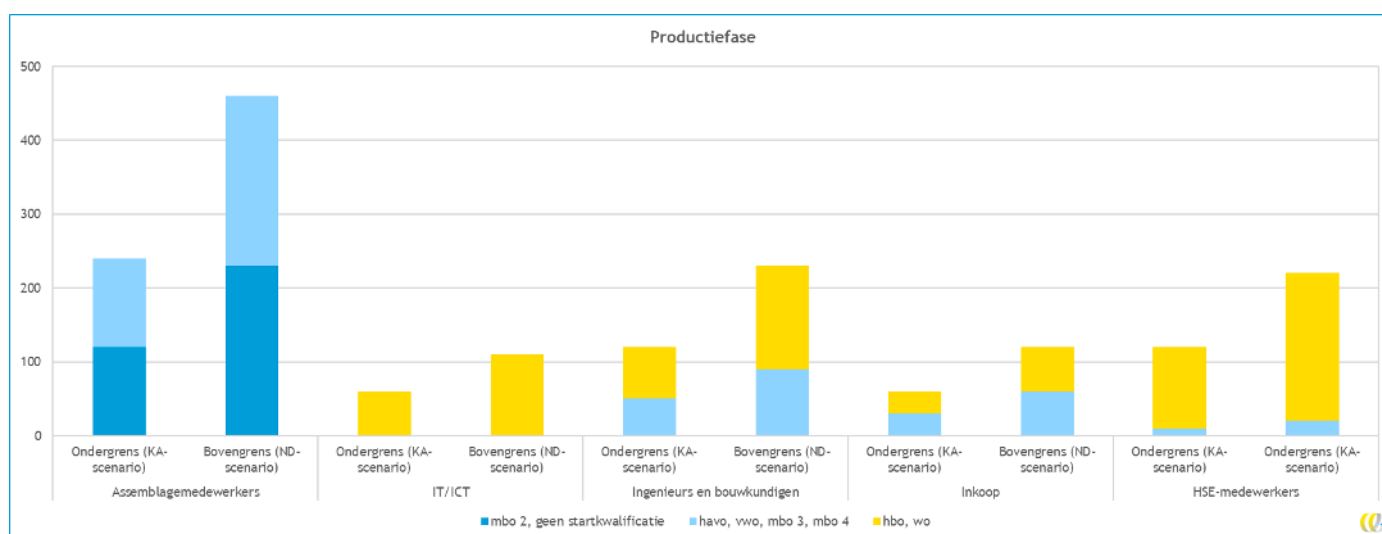
Figuur 12 - Directe vraag naar arbeid in de periode 2024-2030 in de onderzoek & ontwikkelingsfase in de upstreamketen (uitgedrukt in fte)



## Productie

Om een elektrolyser te bouwen zijn speciale waterpompen en industriële machines nodig, die veelal worden gebouwd door assemblagemedewerkers. Ingenieurs geven leiding in de productieprocessen. ICT'ers zijn relevant voor de ondersteuning en automatisering van het productieproces. De beroepsgroep inkoop is relevant voor het inkopen van de benodigde diensten en materialen en de HSE-medewerkers richten zich op de veiligheidsvoorschriften en naleving daarvan.

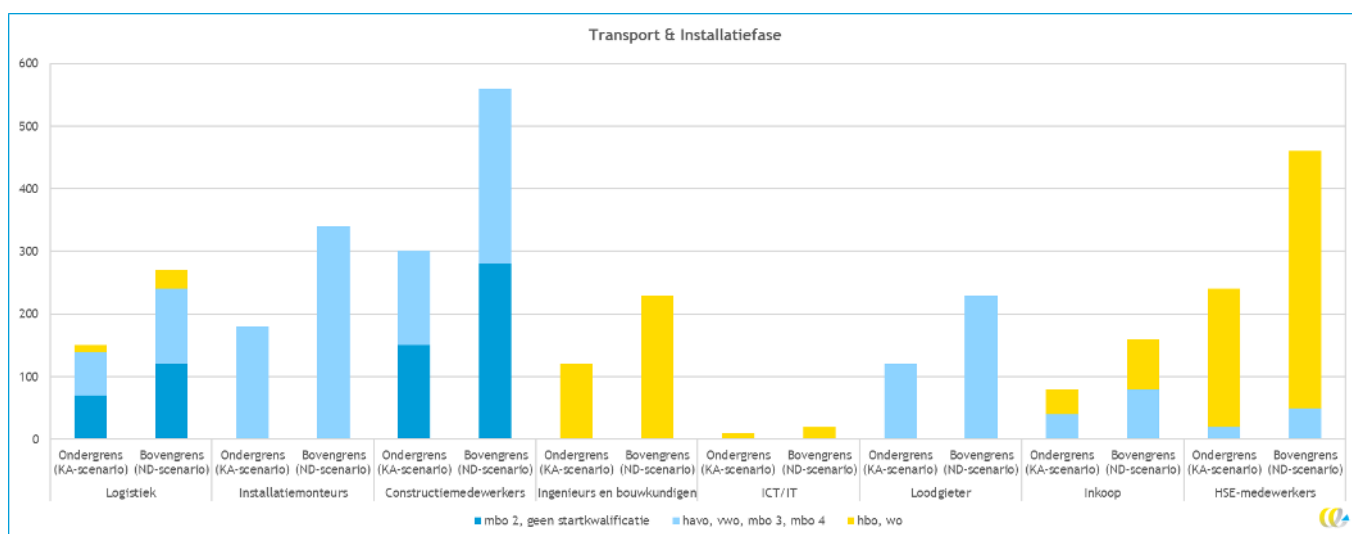
Figuur 13 - Directe vraag naar arbeid in de periode 2024-2030 in de productiefase in de upstreamketen (uitgedrukt in fte)



## Transport & installatie

Voor de transportfase zijn vooral werknemers in de logistieke sector, zoals materiaaltransporteurs en logistieke professionals, nodig voor het beheren van het transport van de productieonderdelen die aangeleverd moeten worden voor de installatie. De elektrolyzers worden geïnstalleerd door installatiemonteurs. Ook constructiemedewerkers, ingenieurs en HSE zijn belangrijke functies bij de installatie. Verder speelt ICT een belangrijke rol. 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. Ook in deze fase zijn HSE-medewerkers nodig.

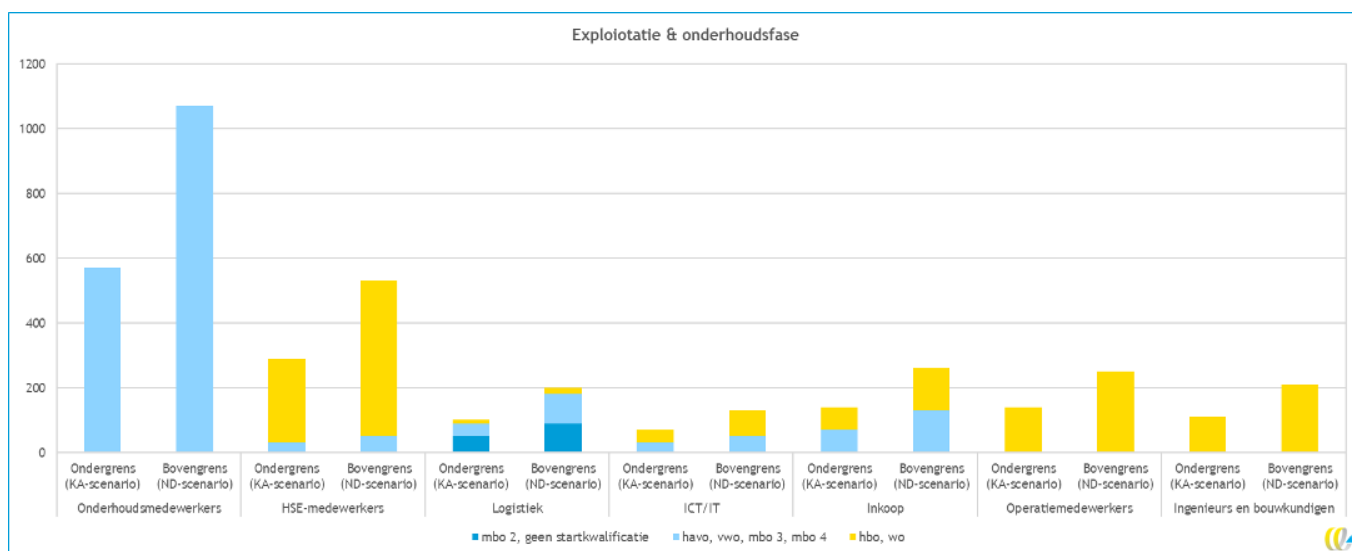
**Figuur 14 - Directe vraag naar arbeid in de periode 2024-2030 in de transport & installatiefase in de upstreamketen (uitgedrukt in fte)**



## Exploitatie & onderhoud

De bediening van elektrolyzers is veelal geautomatiseerd (ICT). Echter, sommige van de technologische componenten moeten worden bemenst of hebben routinematige inspecties nodig (veelal door HSE- of onderhoudsmedewerkers). Operatiemanagers geven leiding en wanneer er iets kapot gaat moet een onderhoudsmedewerker worden gestuurd. Ook in deze fase moeten materialen worden ingekocht.

**Figuur 15 - Directe vraag naar arbeid in de periode 2024-2030 in de exploitatie & onderhoudsfase in de upstreamketen (uitgedrukt in fte)**



## 4.4.2 Midstream

In de midstreamfase van de keten staat de transport en opslag van waterstof centraal. Een onderdeel hiervan is het aanleggen en opereren van de waterstofbackbone. Deze investeringen zijn in alle drie de scenario's noodzakelijk. Voor de infrastructuur wordt in de periode tot 2030 geïnvesteerd in de backbone en realisatie van één importterminal. Beide met een levensduur van 40 jaar. Voor opslag wordt er ingezet op de realisatie van één zoutcaverne<sup>11</sup>. Ook hier kijken we weer naar de periode 2024-2030.

Tabel 7 - Benodigde investeringen

	Investeringen
Backbone	€ 1,5 miljard
Importterminal (capaciteit van 3 Mt (324 PJ))	€ 1 miljard
Zoutcaverne	€ 315 miljoen <sup>12</sup>
<b>Totaal</b>	<b>€ 2,815 miljard</b>

Om deze directe vraag naar arbeid te berekenen maken we gebruik van de infrastructuur-module in het werkgelegenheidsmodel.

Tabel 8 - Directe vraag naar arbeid per scenario

Scenario	Investeringen	Cumulatieve tijdelijke fte	
		2024-2030	2024-2030
Klimaatambitie	€ 2,815 miljard	24.300	3.300
Nationale drijfveren	€ 2,815 miljard	24.300	3.300
Internationale ambitie	€ 2,815 miljard	24.300	3.300

De volgende figuren geven het totaal van de directe vraag naar arbeid als gevolg van de investeringen in de backbone, importterminal en zoutcaverne in de periode 2024-2030 weer. Hierbij wordt tevens per fase het benodigde opleidingsniveau weergegeven en de benodigde beroepen.

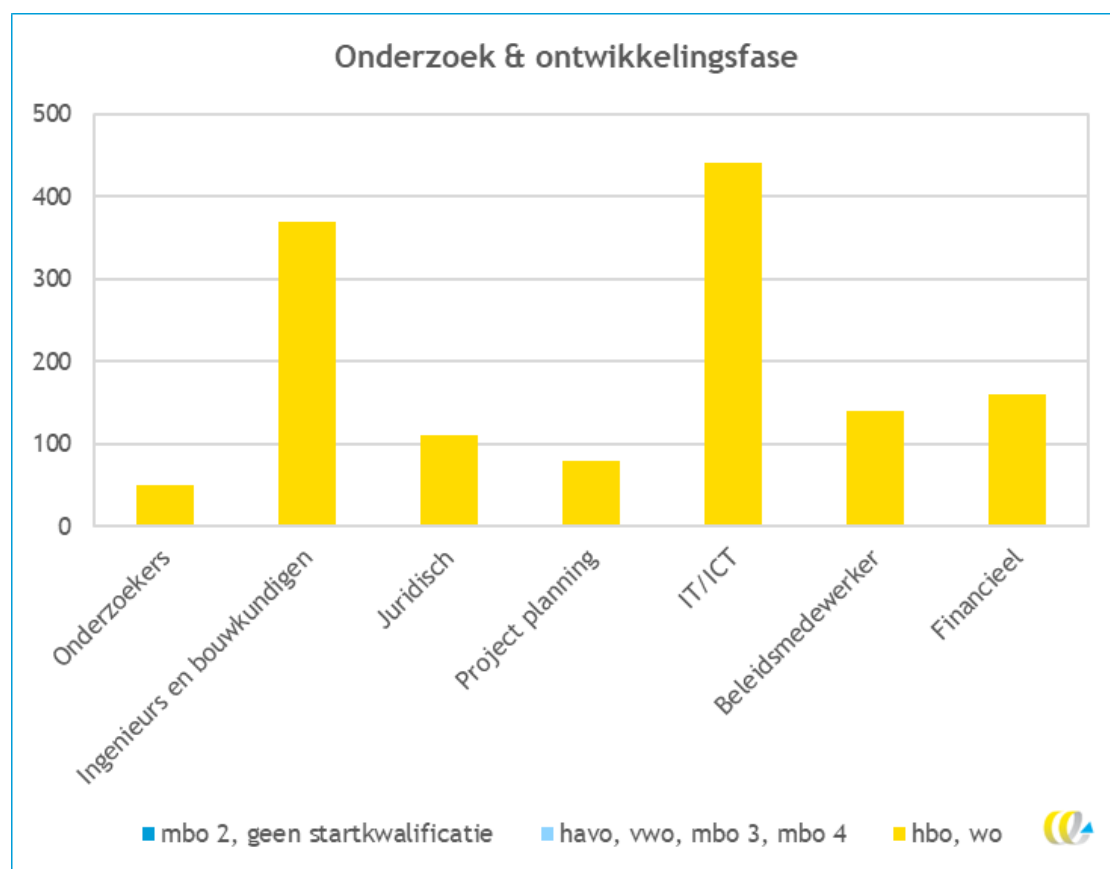
## Onderzoek en ontwikkeling

Voor de ontwikkeling van de infrastructuur is veel systeemkennis nodig, vanaf de individu op lokaal niveau tot aan nationaal niveau. Er is onderzoek nodig naar het in kaart brengen van het energiesysteem en de mogelijkheden voor uitbreidingen. Hierbij spelen zowel onderzoekers, ingenieurs als ICT een rol. Daarnaast moet er onderzoek worden gedaan hoe netwerken slimmer kunnen worden ingericht. De benodigde vaardigheden zijn vooral gericht op bouwkunde, gebouwbesturing, industriële procestechniek en gebiedsontwikkeling.

<sup>11</sup> De verwachting is dat in 2028 de eerste zoutcaverne gereed is en dat na 2030 drie aanvullende waterstofcavernes worden ontwikkeld.

<sup>12</sup> Hierbij is uitgegaan van 1 put, 1 zoutfabriek, piston compressor, dehydration units (van 50 mln sm<sup>3</sup>/d) en purification units van 50 mln sm<sup>3</sup>/d, zie <https://www.tno.nl/nl/newsroom/2022/07/onderzoek-tno-ebn-waterstofopslag-zee/>

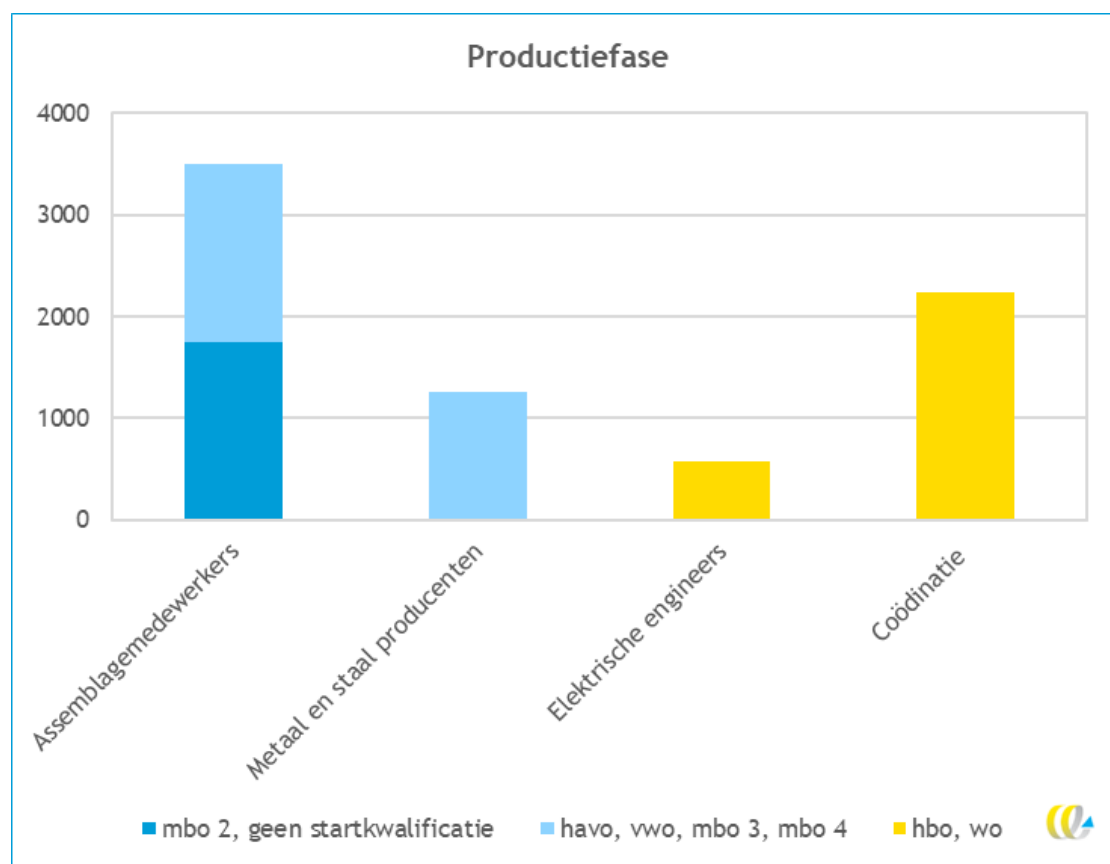
Figuur 16 - Directe vraag naar arbeid in de periode 2024-2030 in de onderzoek & ontwikkelingsfase in de midstreamketen (uitgedrukt in fte)



## Productie

Beroepen die relevant zijn voor de uitbreiding van de infrastructuur zijn gelieerd aan metaal- en staalproductie en elektronische componenten. Hiervoor zijn metaal- en staalarbeiders, assemblagemedewerkers, elektrotechnische ingenieurs en mensen die de productie coördineren nodig.

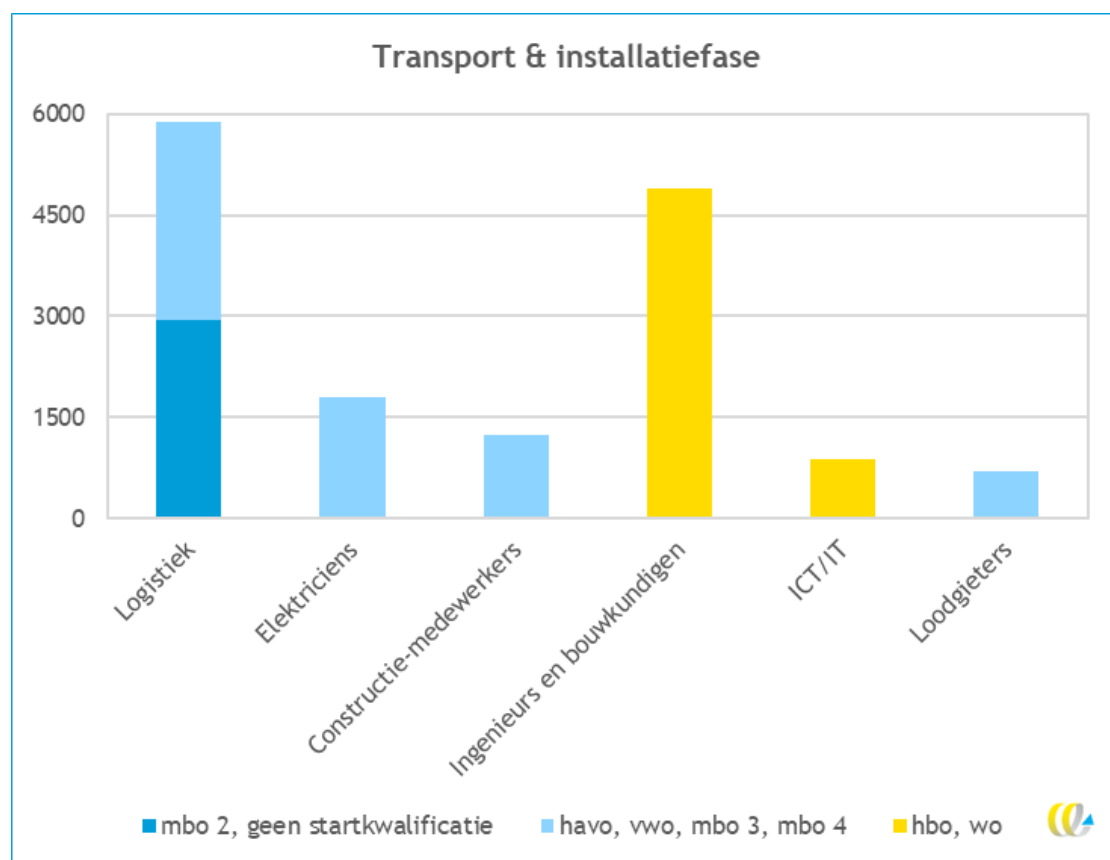
Figuur 17 - Directe vraag naar arbeid in de periode 2024-2030 in de productiefase in de midstreamketen (uitgedrukt in fte)



## Transport & installatie

Om de netwerken uit te breiden, verzwaren of nieuw aan te leggen moet de huidige infrastructuur worden opengeboren. Hierbij zijn grond-, weg-, en waterbouwmonteurs, grondwerkers en stratenmakers van belang. Zij worden geassisteerd door leidingleggers en elektriciteitsnetmonteurs. Spanningsmonteurs of elektromonteurs koppelen de netwerken aan de stakelstations. De vaardigheden hebben vooral te maken met de aanleg van distributienetwerken, verbindingstechnieken, warmtenetwerkssystemen, leidingen kathodisch beschermen, veiligheidsvoorschriften en kabelmontage. Daarnaast speelt ICT een belangrijke rol bij de installatie van systemen en sensoren.

Figuur 18 - Directe vraag naar arbeid in de periode 2024-2030 in de transport & installatiefase in de midstreamketen (uitgedrukt in fte)

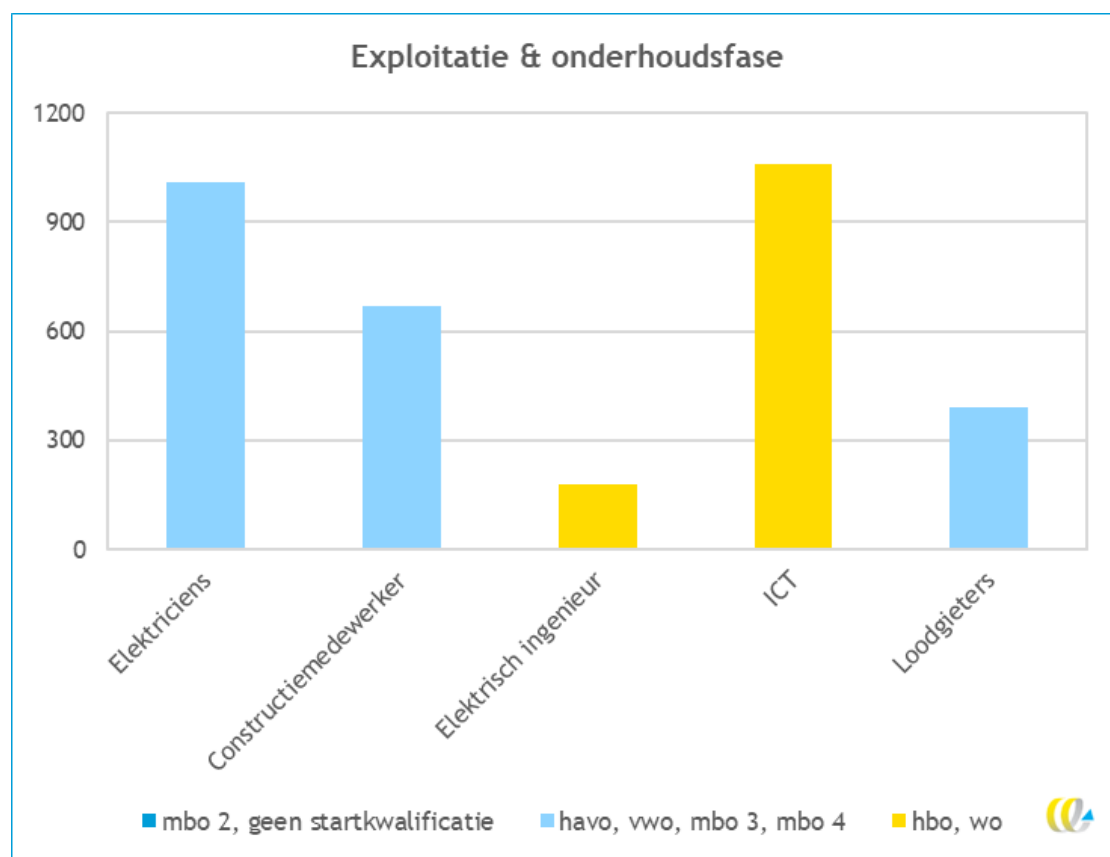


### Exploitatie & onderhoud

ICT wordt ingezet voor monitoring. Wanneer er een fout is, moet technici naar de desbetreffende plek worden gestuurd. Dit zijn veelal constructiemedewerkers, elektriciens, loodgieters en/of ingenieurs.



Figuur 19 - Directe vraag naar arbeid in de periode 2024-2030 in de exploitatie & onderhoudsfase in de midstream (uitgedrukt in fte)



### 4.4.3 Downstream

Bij downstream wordt er gekeken naar het finale gebruik van groene waterstof, dus de inzet in toepassing van industrie als brandstof voor warmte en grondstof van chemische producten en kunstmest), inzet in (zware) transporttoepassingen (zoals wegtransport en scheepvaart) en overige toepassingen. De verwachting is dat waterstof in de periode tot 2030 vooral gebruikt zal worden in de industrie en de mobiliteitssector. Voor de industrie-sector is aangesloten bij het energetisch verbruik van boilers en fornuizen in de drie scenario's<sup>13</sup>. Voor de mobiliteitssector is gekeken naar het aantal voertuigen op waterstof per scenario. Vervolgens is gekeken hoeveel vulstations noodzakelijk zijn.

Tabel 9 - Overzicht directe vraag naar arbeid per scenario

Scenario	Investeringen	Cumulatieve tijdelijke fte 2024-2030	Cumulatieve permanente fte 2024-2030
Klimaatambitie	€ 648 miljoen	700	900
Nationale drijfveren	€ 596 miljoen	700	900
Internationale ambitie	€ 877 miljoen	1.000	1.300

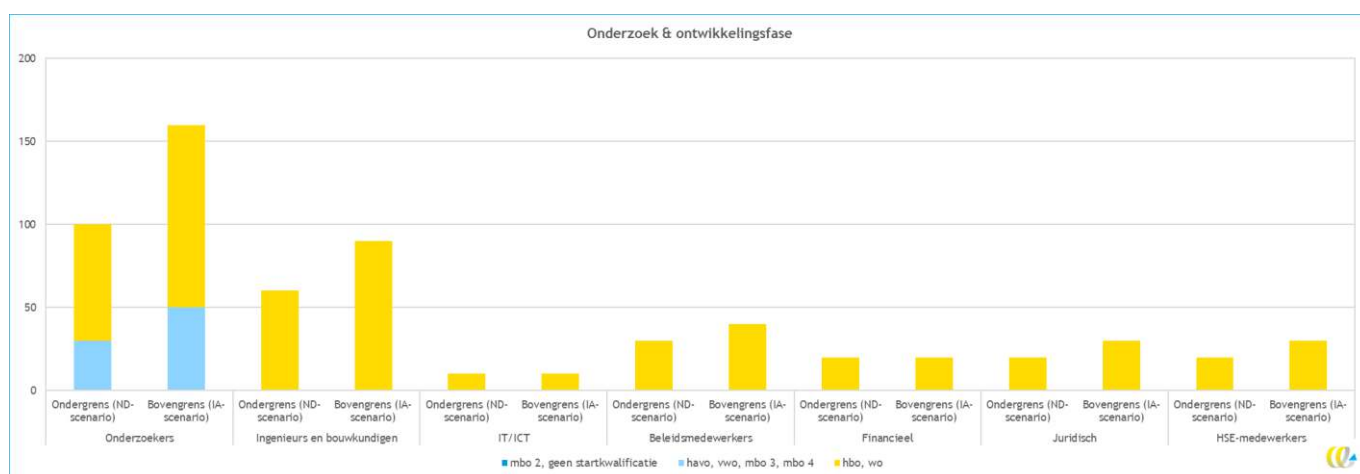
<sup>13</sup> Er zijn geen cijfers bekend voor waterstof als grondstof in de industriesector. Dit is daarom niet meegenomen in de berekening.

In de volgende subparagrafen geven de directe vraag naar arbeid in de vier verschillende fasen weer. De figuren geven de boven- en ondergrens van de cumulatieve vraag naar arbeid in de periode 2024-2030 weer<sup>14</sup>.

## Onderzoek en ontwikkeling

Net als in de upstream is er in de downstream onderzoek nodig, veelal gericht op de toepassing van waterstof als brandstof en grondstof. De benodigde beroepen zijn vergelijkbaar als in de upstreamketen.

**Figuur 20 - Directe vraag naar arbeid in de periode 2024-2030 in de onderzoek & ontwikkelingsfase in de downstreamketen (uitgedrukt in fte)**

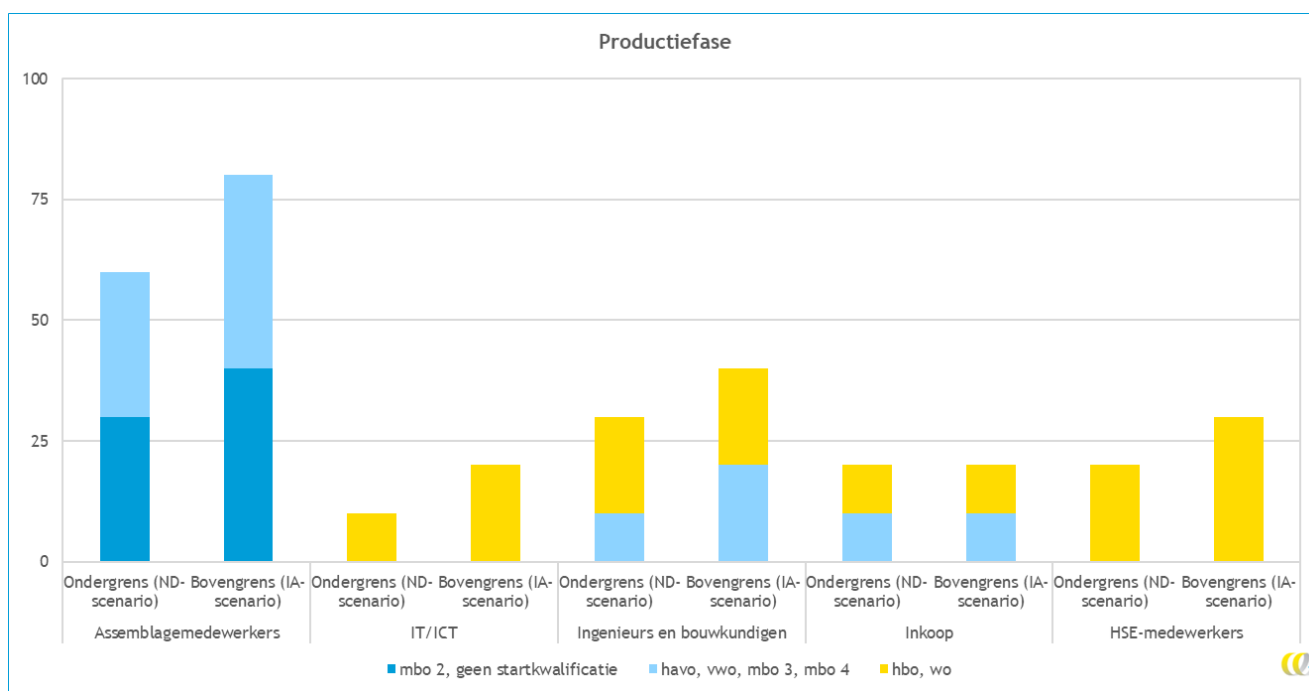


## Productie

Ingenieurs geven leiding in de productieprocessen. De productie voor waterstofketels kan zonder grote aanpassingen in een fabriek worden omgezet vanuit de productie van gasketels. Dit wordt veelal gedaan door assemblagemedewerkers. ICT richt zich op ondersteuning en automatisering, inkoop op het inkopen van de benodigde diensten en materialen en HSE op de veiligheidsvoorschriften.

<sup>14</sup> De eerste drie fasen (onderzoek en ontwikkeling, productie, en transport en installatie) vinden eenmalig plaats. De laatste fase (exploitatie en onderhoud) is permanent, en zijn nodig tot het eind van de levensduur van de elektrolyser. De getallen die worden weergegeven in de figuren gaan echter tot 2030 (en dus niet einde van de levensduur).

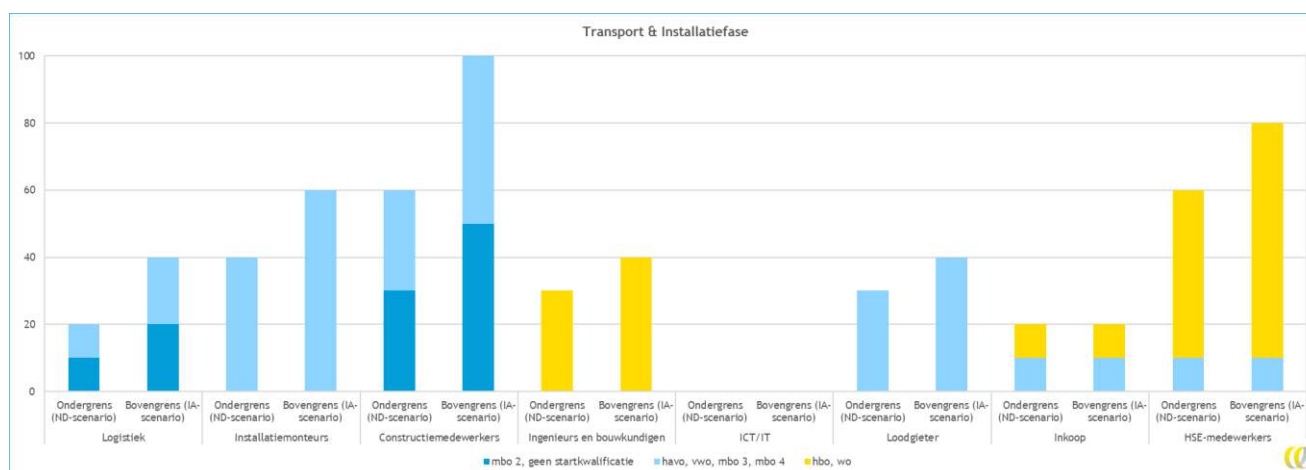
**Figuur 21 - Directe vraag naar arbeid in de periode 2024-2030 in de productiefase in de downstreamketen (uitgedrukt in fte)**



## Transport & installatie

Voor de transportfase zijn vooral werknemers in de logistieke sector (zoals materiaaltransporteurs en logistieke professionals) nodig voor het beheren van het transport van de productieonderdelen die aangeleverd moeten worden voor de installatie. De installatiemonteurs zijn verantwoordelijk voor de installatie van de productieprocessen.

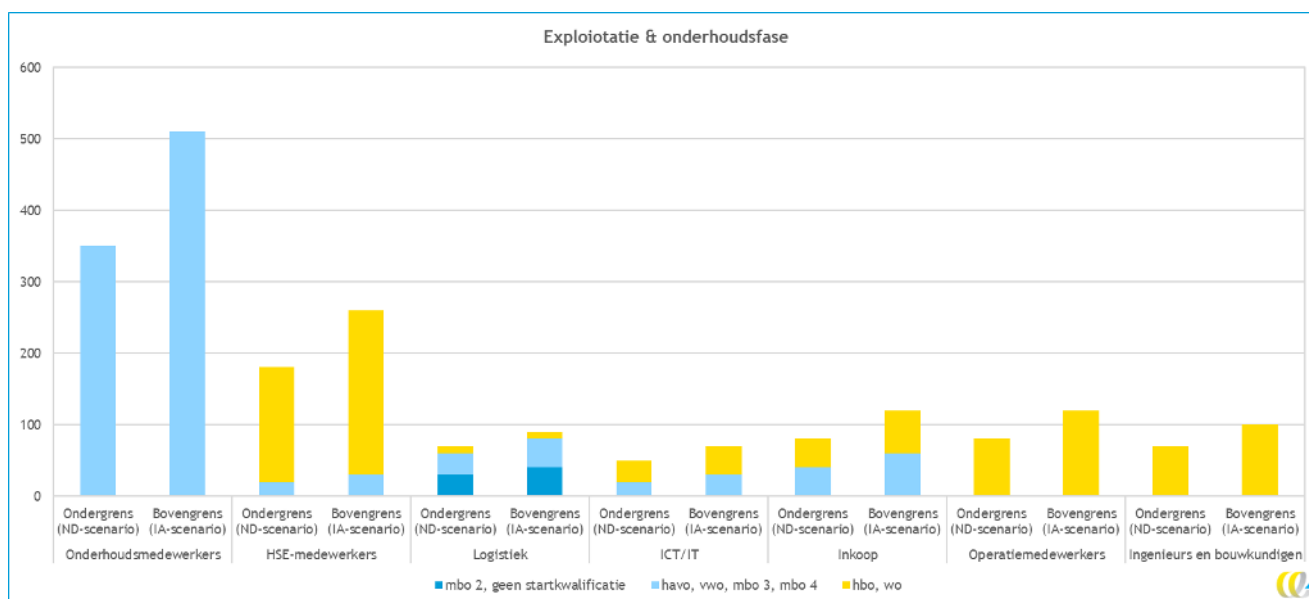
**Figuur 22 - Directe vraag naar arbeid in de periode 2024-2030 in de transport- en installatiefase in de downstreamketen (uitgedrukt in fte)**



## Exploitatie & onderhoud

HSE-medewerkers zijn verantwoordelijk voor routinematige inspecties voor onderdelen en productieprocessen op het gebied van veiligheid. Operatiemanagers geven leiding, onderhoudsmedewerkers worden ingezet voor het onderhoud en wanneer er iets kapot gaat. Hiervoor is ook inkoop van materialen en diensten noodzakelijk.

Figuur 23 - Directe vraag naar arbeid in de periode 2024-2030 in de exploitatie & onderhoudsfase in de downstreamketen (uitgedrukt in fte)



## 4.5 Conclusie vraagraming

Dit hoofdstuk geeft antwoord op de volgende vragen:

### *Hoe vertalen de scenario's zich naar een verwachte toekomstige arbeidsvraag?*

De waterstoftransitie zorgt in alle drie de scenario's voor een sterke groei in investeringen in de up-, mid- en downstreamdelen van de keten. Dit leidt tot een directe vraag naar arbeid van verschillende beroepen en bijbehorende opleidingsniveaus. Op basis van de drie scenario's kan een boven- en een ondergrens worden gegeven (zie figuren Paragraaf 4.4).

Tabel 10 - Arbeidsvraag (fte) per scenario in periode 2024-2030, cumulatief voor de gehele periode

Scenario	Onderdeel keten	Tijdelijke fte	Permanente fte
Internationale Ambitie (IA)	Upstream	4.200	2.000
	Midstream	24.300	3.300
	Downstream	1.000	1.300
	<b>Totaal</b>	<b>29.500</b>	<b>6.600</b>
Klimaatambitie (KA)	Upstream	3.000	1.400
	Midstream	24.300	3.300
	Downstream	700	900
	<b>Totaal</b>	<b>28.000</b>	<b>5.600</b>

Scenario	Onderdeel keten	Tijdelijke fte	Permanente fte
Nationale Drijfveren (ND)	Upstream	5.700	2.700
	Midstream	24.300	3.300
	Downstream	700	900
	<b>Totaal</b>	<b>30.700</b>	<b>6.900</b>

Het scenario Nationale Drijfveren heeft het hoogst aantal fte en kan daarmee gezien worden als de bovengrens. In totaal is de bovengrens van de cumulatieve directe vraag naar arbeid in de periode 2024-2030 bijna 38.000 fte. Dit kan worden onderverdeeld in bijna 31.000 fte tijdelijke banen en 7.000 (cumulatieve) permanente banen (jaarlijks ongeveer 1.000 fte).

***Om welke beroepen gaat het en wat voor kennis en welke skills zijn nodig?***

De benodigde kennis, vaardigheden en beroepen verschilt per onderdeel van de keten en per fase in de keten. Tabel 11 geeft een overzicht van de benodigde beroepen per keten.

Tabel 11 - Benodigde beroepen

Onderdeel keten	Fase	Beroepen
Upstream	Onderzoek & ontwikkeling	Onderzoekers, ingenieurs & bouwkundigen, beleidsmedewerkers, IT/ICT, financiële en juridische medewerkers en HSE-medewerkers
	Productie	Assemblagemedewerkers, IT/ICT, ingenieurs & bouwkundigen, inkoop en HSE-medewerkers
	Transport & installatie	Werknemers in de logistiek, installatiemonteurs, constructie-medewerkers, ingenieurs & bouwkundigen, IT/ICT, loodgieters, inkoop en HSE-medewerkers
	Exploitatie & onderhoud	Onderhoudsmedewerkers, HSE-medewerkers, logistiek, ICT/IT, inkoop, operatiemedewerkers en ingenieurs & bouwkundigen
Midstream	Onderzoek & ontwikkeling	Onderzoekers, ingenieurs & bouwkundigen, juridische en financiële medewerkers, projectplanning, IT/ICT, beleidsmedewerker
	Productie	Assemblagemedewerkers, metaal en staalproducenten, elektrische engineers en werknemers die zich bezig houden met coördinatie
	Transport & installatie	Logistiek, elektriciens, constructiemedewerkers, ingenieurs & bouwkundigen, IT/ICT en loodgieters
	Exploitatie & onderhoud	Elektriciens, constructiemedewerkers, elektrische ingenieurs, ICT en loodgieters
Downstream	Onderzoek & ontwikkeling	Onderzoekers, ingenieurs & bouwkundigen, beleidsmedewerkers, IT/ICT, financiële en juridische medewerkers en HSE-medewerkers
	Productie	Assemblagemedewerkers, IT/ICT, ingenieurs & bouwkundigen, inkoop en HSE-medewerkers
	Transport & installatie	Werknemers in de logistiek, installatiemonteurs, constructie-medewerkers, ingenieurs & bouwkundigen, IT/ICT, loodgieters, inkoop en HSE-medewerkers
	Exploitatie & onderhoud	Onderhoudsmedewerkers, HSE-medewerkers, logistiek, ICT/IT, inkoop, operatiemedewerkers en ingenieurs & bouwkundigen

Om de waterstoftransitie goed te kunnen faciliteren vanuit opleidingstrajecten, zijn kennis en vaardigheden nodig. Er zijn verschillende beroepen op verschillende opleidingsniveaus noodzakelijk. Over het algemeen geldt dat het overgrote deel van deze vraag vervuld zal moeten worden door technisch geschoolden. Zo hebben werknemers in de upstream vooral technische kennis over de ontwikkeling, installatie, onderhoud en veiligheidsprocedures van een elektrolyser nodig. In de downstream gaat het juist om de technische toepassingen van waterstof, inclusief veiligheidsvoorschriften inzake opslag. In vrijwel alle delen van de keten is kennis over veiligheid en benodigde voorschriften van belang. In de midstream is systeemkennis vanaf de individu op lokaal niveau tot aan nationaal niveau noodzakelijk. Er zijn vaardigheden nodig gericht op bouwkunde (ontwerp), gebouwbesturing, industriële procestechiek en gebiedsontwikkeling.

# 5 Aanbodraming

## 5.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft antwoord op de vraag:

### *Wat is het verwachte toekomstige arbeidsaanbod?*

In samenspraak met GVNL is een afbakening van de relevante sector opgesteld (zie Paragraaf 5.2). Vervolgens is deze afbakening gebruikt om inzicht te krijgen in de omvang van de huidige werkgelegenheid (zie Paragraaf 5.3), de stromen afgestudeerden die ieder jaar de arbeidsmarkt betreden (zie Paragraaf 5.4) en de weglek naar en instroom vanuit andere sectoren, ook wel netto zijinstroom genoemd (zie Paragraaf 5.5). In Paragraaf 5.6 kijken we naar de instroom vanuit het buitenland (arbeidsmigratie). Waar mogelijk maken we ramingen, daarmee bedoelen we dat we een inschatting van de omvang van het toekomstige arbeidspotentieel. We splitsen de cijfers waar mogelijk geografisch uit en kijken ook naar de verschillende subsectoren en opleidingsniveaus.

## Interpretatie

Het op een correcte wijze interpreteren van de hierna gepresenteerde cijfers gaat als volgt. De cijfers geven inzicht in het potentiële arbeidsaanbod. Het gaat dus om personen die beschikken over de kwalificaties en/of werkervaring die nodig is om (in de toekomst) succesvol werkzaam te zijn in de waterstofsector. We geven hiermee **geen** inzicht in het totaal aantal personen dat daadwerkelijk werkzaam gaat zijn in de sector. Dit is immers afhankelijk van zowel de vraag naar arbeid in de waterstofsector (zie Hoofdstuk 4 van dit rapport) als van de vraag naar arbeid met deze kwalificaties en/of werkervaring in andere sectoren (hierover meer in Hoofdstuk 6).

## Hoe zijn de cijfers opgesteld?

De basis voor dit kwantitatieve onderzoek bestaat uit registratiegegevens in de CBS-microdata. Dit onderzoek neemt de voor de waterstofsector relevante sectoren als uitgangspunt en kwantificeert het aantal werkenden (fte) binnen deze sectoren. Daarnaast kijken we naar het aantal afgestudeerden in een voor de waterstofsector relevante opleiding. Het bekostigde onderwijs staat hierbij centraal. De data wordt jaarlijks verzameld door het CBS. Om een beeld over tijd te schetsen en een doorkijk naar 2030 te kunnen opstellen kijken we eerst achteruit (van 2010-2022) alvorens we een raming voor de toekomst geven. Omdat de toekomst onzeker is, doen we dit middels een 95%-betrouwbaarheidsinterval.

## 5.2 Afbakening waterstofsector

Er is echter geen eenduidige definitie van de waterstofsector (in de zin van een aparte SBI-code voor deze sector). Om inzicht te geven in het (toekomstige) arbeidsaanbod is een lijst opgesteld van relevante sectoren en opleidingen. Deze lijst is gebaseerd op een literatuurstudie, waarbij beroepen en vaardigheden zijn aangevinkt op een lijst met alle sectoren en opleidingen. Vervolgens is deze lijst gevalideerd in een aantal gesprekken.

De lijst geeft inzicht in het soort beroepen en vaardigheden die vaak geassocieerd worden met de waterstofsector.

### 5.2.1 Afbakening bekostigd onderwijs

Tabel 14 en Tabel 15 in Bijlage D geven een overzicht van de afbakening van relevante opleidingen voor het potentiële arbeidsaanbod vanuit het bekostigd onderwijs. Deze afbakening is tot stand gekomen op basis van deskresearch van buitenlandse studies. Relevante opleidingsrichtingen die genoemd worden zijn technische opleidingsrichtingen (zoals elektro-, proces-, installatietechniek, etc.), waarbij ook IT- en transport en logistiek-opleidingen als mogelijk relevant worden genoemd. Deze afbakening is vervolgens gevalideerd in gesprekken met onder andere opleiders. Over het niet-bekostigde en post-initieel onderwijs is geen data beschikbaar en kunnen dus geen ramingen uitgevoerd worden. Bovendien maken deze vormen van onderwijs onderdeel uit van een ander onderzoekstraject dat tegelijkertijd met deze studie wordt uitgevoerd.

### 5.2.2 Afbakening zijinstroom en arbeidsmigratie

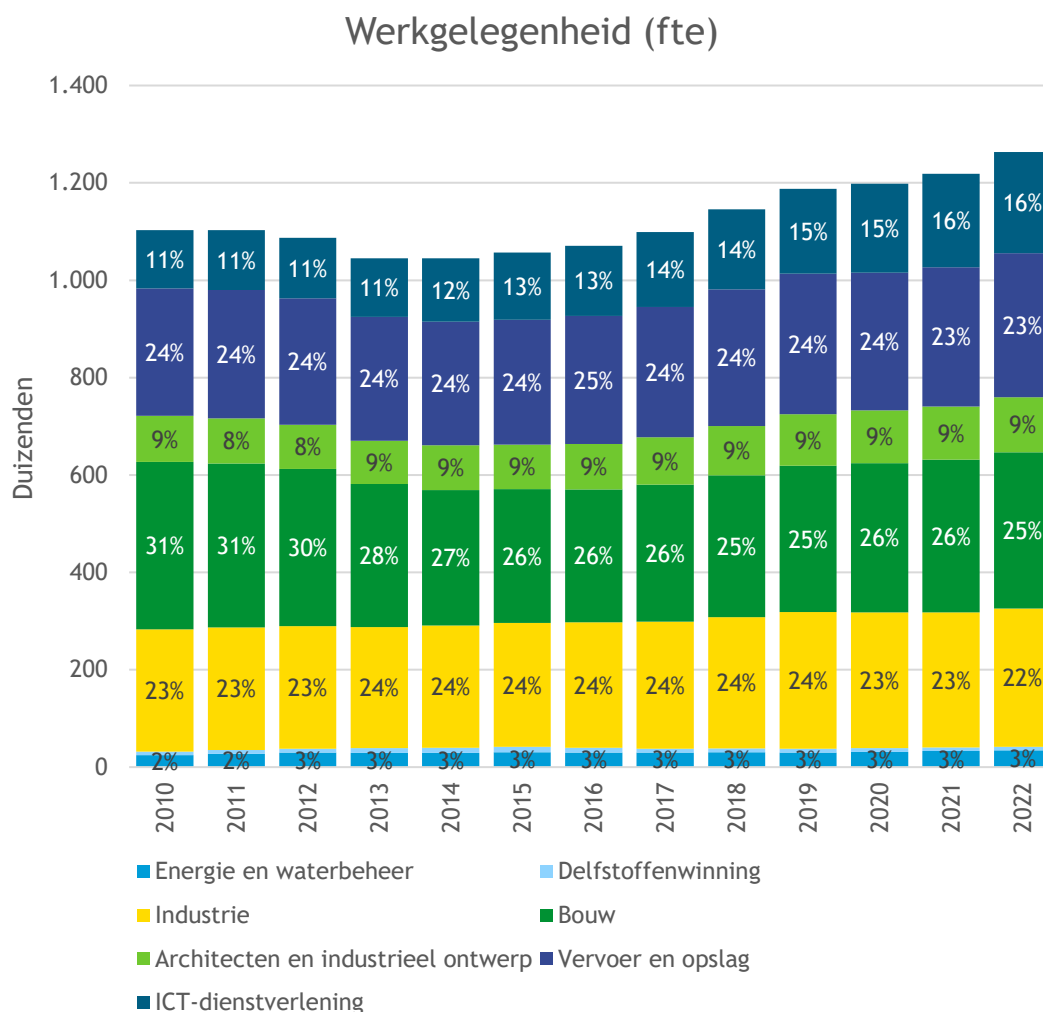
Tabel 16 in Bijlage D geeft een overzicht van de afbakening van sectoren voor het potentiële arbeidsaanbod via zijinstroom en arbeidsmigratie. Deze afbakening is tot stand gekomen op basis van deskresearch van buitenlandse studies. Relevante sectoren die genoemd worden zijn sectoren van de industrie (C), energievoorziening (D), waterbedrijven (E), en bouwnijverheid (F). Bruine sectoren zoals delfstoffenwinning (D) of dienstverlenende sectoren zoals transport en logistiek (H), IT (subsector J), en technische zakelijke diensten (subsector M) zijn mogelijk ook direct of indirect via omscholing relevant voor de waterstoftransitie.

## 5.3 Totale werkgelegenheid

Figuur 24 toont de meest recente (2022) werkgelegenheid in fte voor de geselecteerde sectoren die relevant zijn voor de waterstoftransitie. Daarnaast toont de figuur ook cijfers voor de ontwikkeling in de periode 2010-2021. Over de hele periode neemt de totale werkgelegenheid toe tot ruim 1,2 miljoen fte's. Dit is in lijn met de opwaartse beweging van de conjunctuur.



Figuur 24 - Werkgelegenheid per sector over tijd gemeten in fte's. Bewerking van CBS-microdata.



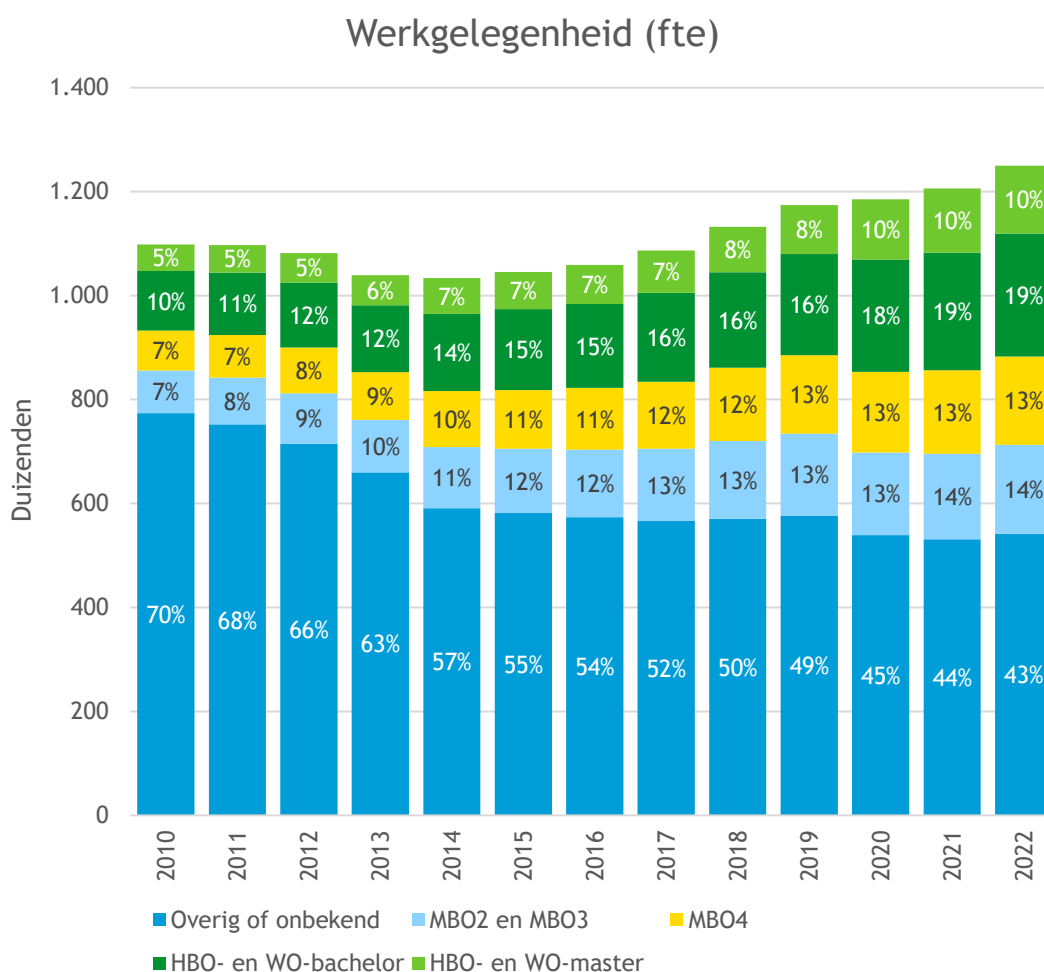
Bron: SEO Economisch Onderzoek.

De aandelen van de onderliggende sectoren in de waterstofsector verschillen sterk, en zijn niet constant over tijd. Zo is het aandeel van de bouwsector in de werkgelegenheids-groei gekrompen met 6 procentpunt (31% in 2010 vs. 25% in 2022). Dat betekent dat de bouwsector over 12 jaar tijd met zo'n 23.000 fte is gekrompen. Dit sluit ook aan bij de ervaren schaarste die diverse gesprekspartners benoemen. Daartegenover staat dat de ICT-sector gegroeid is met 5 procentpunt, wat overeenkomt met een stijging van zo'n 88.000 fte. De sectoren vervoer en opslag, architecten en industrieel ontwerp, industrie en delfstoffenwinning en energie- en waterbeheer zien amper een stijging of daling in hun werkgelegenheids-groei. Voor deze sectoren schommelt de stijging of daling in werkgelegenheids-groei rond de 1 procentpunt. Deze sectoren groeien dus navenant mee met het totale potentiële arbeidsaanbod.



Figuur 25 laat zien dat bovengenoemde sectoren behoefte hebben aan zowel praktisch- als theoretisch geschoolde arbeiders. In de beginjaren is het opleidingsniveau voor een grote groep onbekend. De reden hiervoor is dat er geen administratieve gegevens beschikbaar zijn voor opleidingsniveau.<sup>15</sup> Daarom wordt gekeken naar de ontwikkeling van de verhouding tussen de opleidingsniveaus over tijd. Als het percentage met een hbo- en wo-opleiding stijgt over tijd, terwijl het percentage met een mbo-opleiding daalt over tijd, impliceert dit een toename van kennisintensieve arbeid. De figuur laat zien dat dit niet het geval is. Over de periode 2010-2022 verdubbelen vrijwel alle percentages voor zowel hbo-, wo- en mbo-opleidingen.<sup>16</sup> Hierdoor lijkt het onwaarschijnlijk dat de sectoren enkel behoefte hebben aan praktisch dan wel theoretisch geschoolde arbeiders.

Figuur 25 - Werkgelegenheid naar opleidingsniveau over tijd. Bewerking van CBS-microdata.



Bron: SEO Economisch Onderzoek.

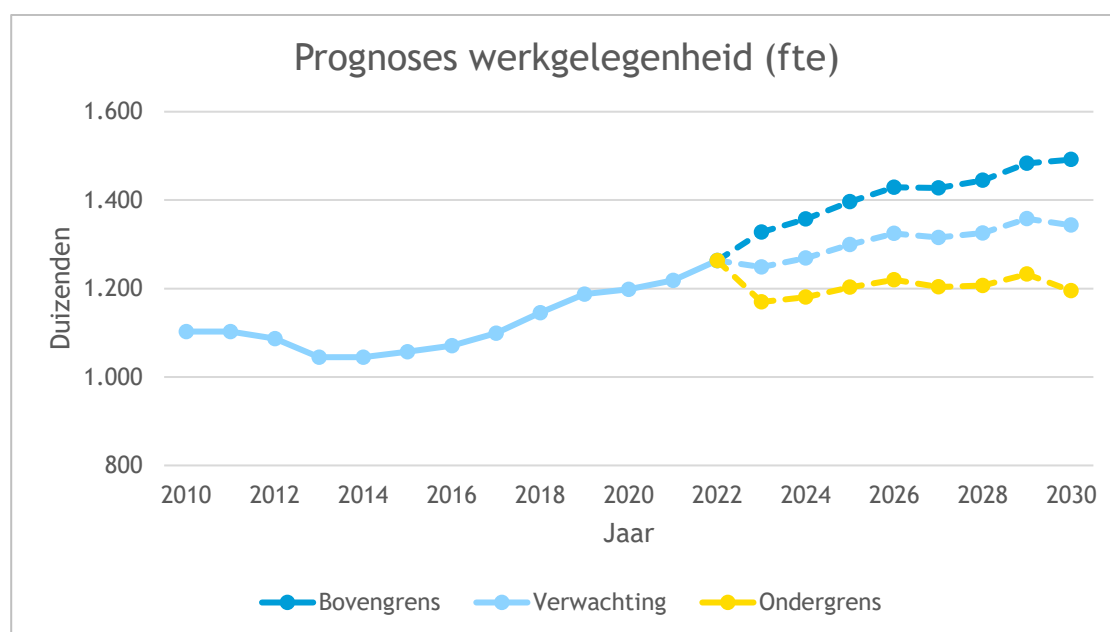
<sup>15</sup> Mensen die geen startkwalificatie hebben vallen ook in deze groep. Echter is de hoofdreden dat de categorie overig of onbekend zo groot is het gebrek aan administratieve data omtrent diplomagegevens.

<sup>16</sup> De hoger opgeleiden zullen met name werk vinden in de ICT-dienstverlening. Figuur 11 laat zien dat dit een groeiende sector is. Dit is geen nieuwe bevinding: de algemene ontwikkeling is dat het opleidingsniveau sinds 2010 toeneemt. Daarnaast verandert het aanbod over tijd door vergrijzing en arbeidsmigratie (deze groepen hebben vaker een onbekend opleidingsniveau). Doordat de eerste groep uitstroomt nemen de aandelen met een bekend opleidingsniveau per definitie toe.



Met behulp van de werkgelegenheidstrends per sector en voor verschillende opleidingsniveaus is het mogelijk om een raming te construeren voor de werkgelegenheid in de komende jaren. Deze raming wordt weergegeven in Figuur 26. De raming voorspelt dat de werkgelegenheid groeit naar ruim 1,3 miljoen fte in 2030.<sup>17</sup> Omdat een verwachting onzekerheid met zich meebrengt, wordt tevens in de figuur de boven- en ondergrens weergegeven op basis van een 95%-betrouwbaarheidsinterval. Hierdoor kunnen de effecten van golfbewegingen in de economie (hoog- en laagconjunctuur) en demografische trends beter in kaart worden gebracht. Als het economisch tegengit of de bevolkingsgroei afneemt, krimpt de werkgelegenheid in de sectoren die betrokken zijn bij de waterstoftransitie naar bijna 1,2 miljoen fte. In het meest optimistische scenario groeit de werkgelegenheid naar bijna 1,5 miljoen fte, maar dit is een onwaarschijnlijk scenario gezien de vergrijzing. Alleen in het geval van een sterke toename van arbeidsmigratie is deze groei in werkgelegenheid mogelijk.

**Figuur 26 - Verwachte groei in werkgelegenheid in sectoren die de waterstoftransitie mogelijk maken. Rondom de trendlijn wordt een 95%-betrouwbaarheidsinterval weergegeven**



Bron: SEO Economisch Onderzoek.

De hierboven gepresenteerde groeiprognoze sluit aan bij bevindingen van eerdere toekomstverkenningen, zoals een uitgebreide studie van het Economisch Instituut voor de Bouwnijverheid (EIB, 2020). In deze studie maakt het EIB een schets van de demografische en economische ontwikkelingen voor de bouwnijverheid en infrastructuur. De hierboven gepresenteerde verwachte groei (zie lichtblauwe lijn) sluit aan bij de groei van de werkgelegenheid in de EIB-studie.<sup>18</sup> Een belangrijke kanttekening hierbij is dat de onderzochte sectoren natuurlijk slechts deels overlappen.

<sup>17</sup> Dit effect wordt onder andere gedreven doordat het aantal instromers vanuit opleidingen (zie Paragraaf 5.4), zijinstromers (zie Paragraaf 5.5) en arbeidsmigratie (Paragraaf 5.6) de afgelopen jaren relatief hoog ligt/is toegenomen.

<sup>18</sup> In de studie van het EIB zijn twee scenario's (behoedzaam en dynamisch) doorgerekend. In het behoedzame scenario gaat het EIB uit van een groeipercentage van zo'n 6,9% en in het dynamische percentage van 14,0%.

## 5.4 De instroom vanuit opleidingen

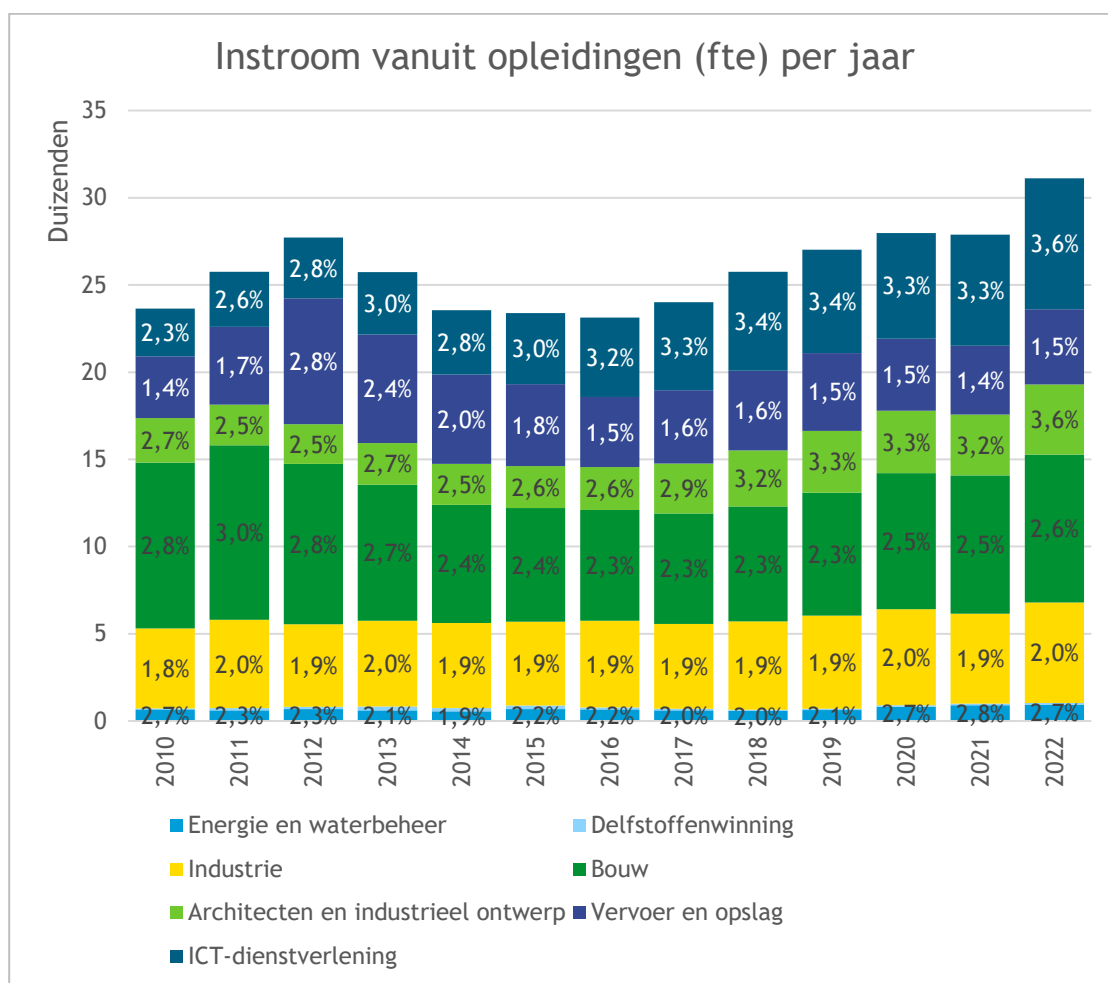
Ieder jaar behalen duizenden studenten hun mbo-, hbo-, of wo-diploma. Het grootste deel van deze afgestudeerden start daarna met hun eerste baan. Dit betekent dat deze stroom afgestudeerden van invloed is op de totale werkgelegenheid. Om het effect van de instroom van de studenten op het arbeidsaanbod van de waterstofsector te duiden geven we in deze paragraaf inzicht in de instroom vanuit relevante opleidingen naar relevante sectoren.

Figuur 27 laat de instroom van arbeidsaanbod vanuit opleidingen zien in sectoren die een rol spelen in de waterstoftransitie. De verticale as geeft het totaal aantal afgestudeerden in duizenden weer dat vanuit opleiding aan het werk gaat in de waterstofsector. In 2022 gingen ruim 31.000 afgestudeerden (fte) aan de slag in de waterstofsector, wat neerkomt op bijna circa 2,5% van de totale werkgelegenheid. Het percentage in de staafdiagram geeft weer welk aandeel van de totale werkgelegenheid in een bepaalde subsector van de waterstofsector direct vanuit opleidingen komt. Een voorbeeld: in 2022 kwam 3,6% van de totale werkgelegenheid in de ICT-dienstverlening direct van een relevante 'waterstof-opleiding'.

---

In onze studie gaan wij uit van een groeipercentage van circa 8,3%. Onze raming ligt daarmee aan de behoedzame kant van het spectrum. De bovengrens (zie donkerblauwe lijn) lijkt sterk op het dynamische scenario.

Figuur 27 - Percentage instroom vanuit opleidingen in sectoren die relevant zijn voor de waterstoftransitie. Bewerking van CBS-microdata.

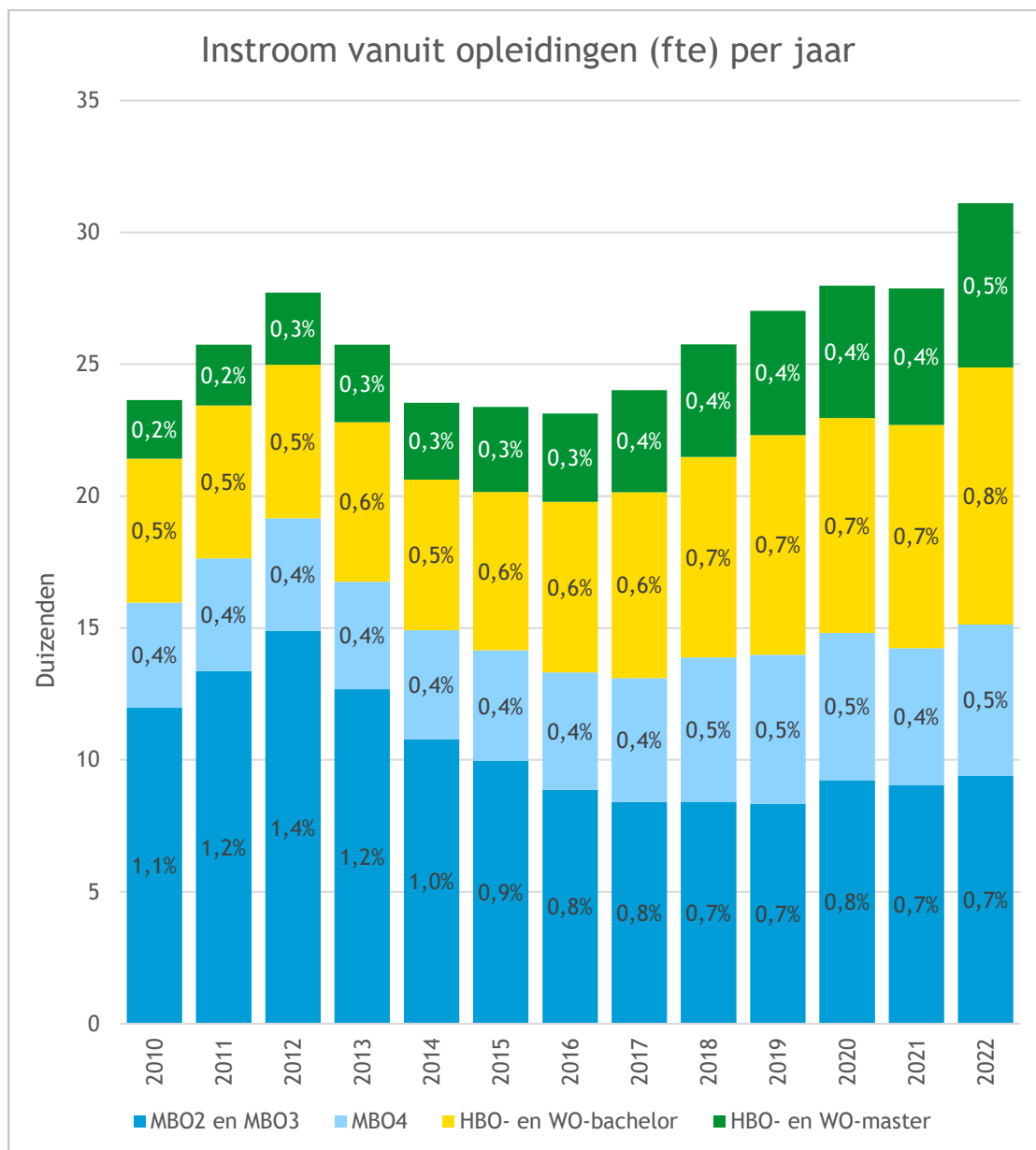


Bron: SEO Economisch Onderzoek.

Daarnaast toont Figuur 27 dat de werkgelegenheidsgroei vanuit opleidingen niet uniform is voor alle sectoren. Zo wordt instroom vanuit opleidingen steeds belangrijker voor de IT-sector (2,3% in 2010 vs. 3,6% in 2022). Dit geldt ook voor de sector Architecten en industrieel ontwerp (2,7 vs. 3,6 procentpunt). De industriesector laat dit in mindere mate zien. De sector vervoer laat over de periode 2010-2022 een constante stijging zien. Hoewel deze sector wel sterk groeit in de jaren 2011-2014, zet deze stijging niet door in de opeenvolgende jaren. Voor energie en waterbeheer is het aantal afstudeerders ook redelijk constant over tijd. De bouw laat daarentegen een daling zien van 0,2 procentpunt (2,8% in 2010 vs. 2,6% in 2022). Wederom sluit dit aan bij het ervaren beeld van krapte van de gesprekspartners (naast dat de werkgelegenheid in de sector daalt, zien we ook dat de instroom vanuit opleidingen daalt).



Figuur 28 - Percentage instroom naar opleidingsniveau. Bewerking van CBS-microdata.



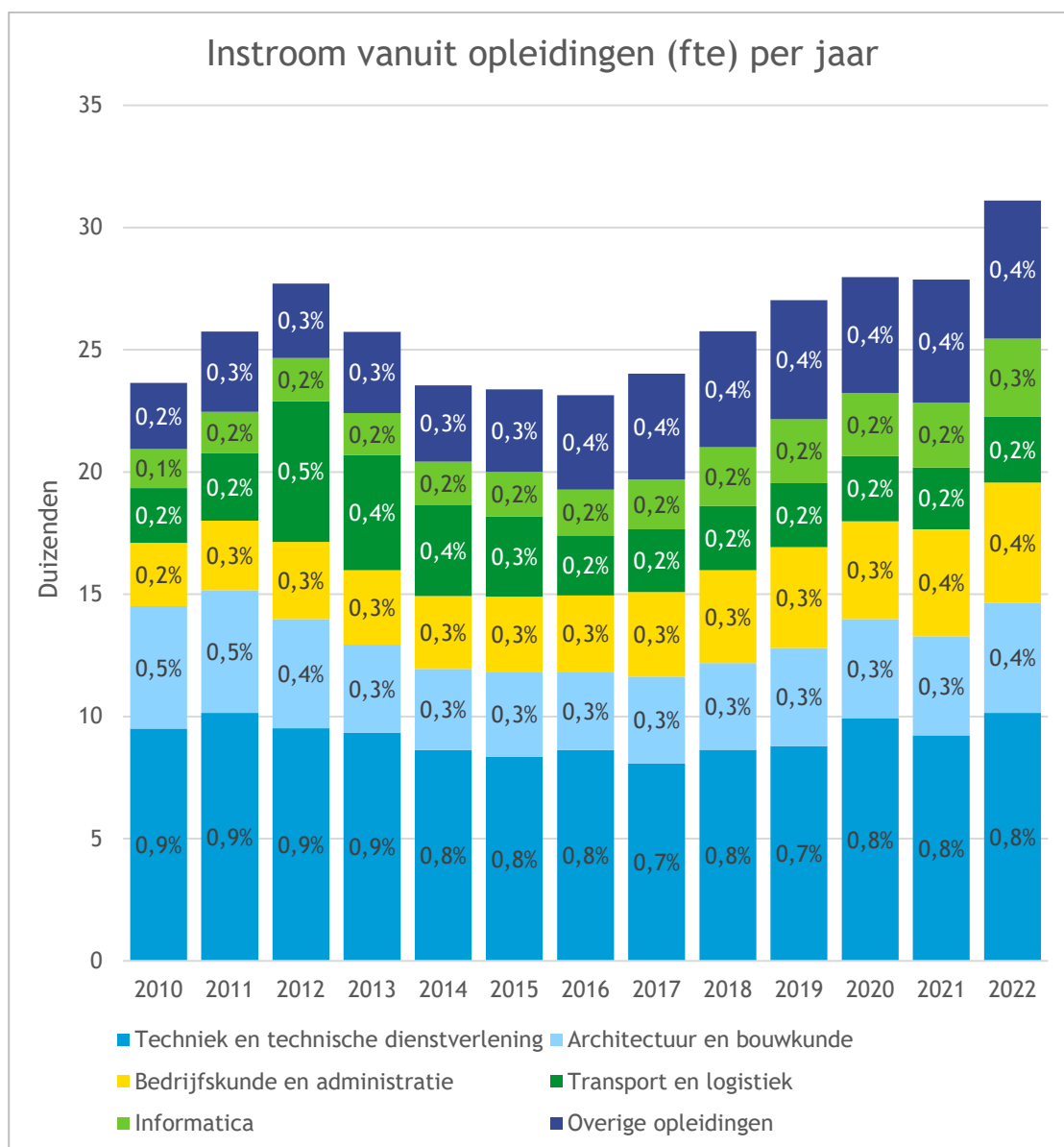
Bron: SEO Economisch Onderzoek.

Wanneer in dezelfde periode naar het opleidingsniveau van de instroom van 2,5% van de totale werkgelegenheid gekeken wordt, valt op dat meer mensen die direct na hun opleiding een baan vinden in de waterstofsector een hoge opleiding hebben gevolgd (0,2% in 2010 vs. 0,5% in 2022). Hetzelfde geldt ook voor hbo en wo-bachelor (0,5% in 2010 vs. 0,8% in 2022). Het percentage instroom met een mbo 4-opleiding blijft vrijwel constant over de periode. De instroom met een mbo 2- en mbo 3-opleiding daalde met 0,4 procentpunt (zie Figuur 29).



De instroom kan ook worden onderverdeeld naar studierichting. Figuur 29 laat zien dat het percentage studenten dat instroomt in de waterstofsector voor de verschillende studierichtingen vrij constant is. De instroom vanuit opleidingen kan daardoor niet verklaard worden door een toename in de populariteit van de sectoren. De toename vanuit opleidingen wordt waarschijnlijk vooral verklaard door de groei van het aantal studenten dat een relevante opleiding voor de waterstoftransitie volgt.

Figuur 29 - Percentage instroom naar studierichting. Bewerking van CBS-microdata.



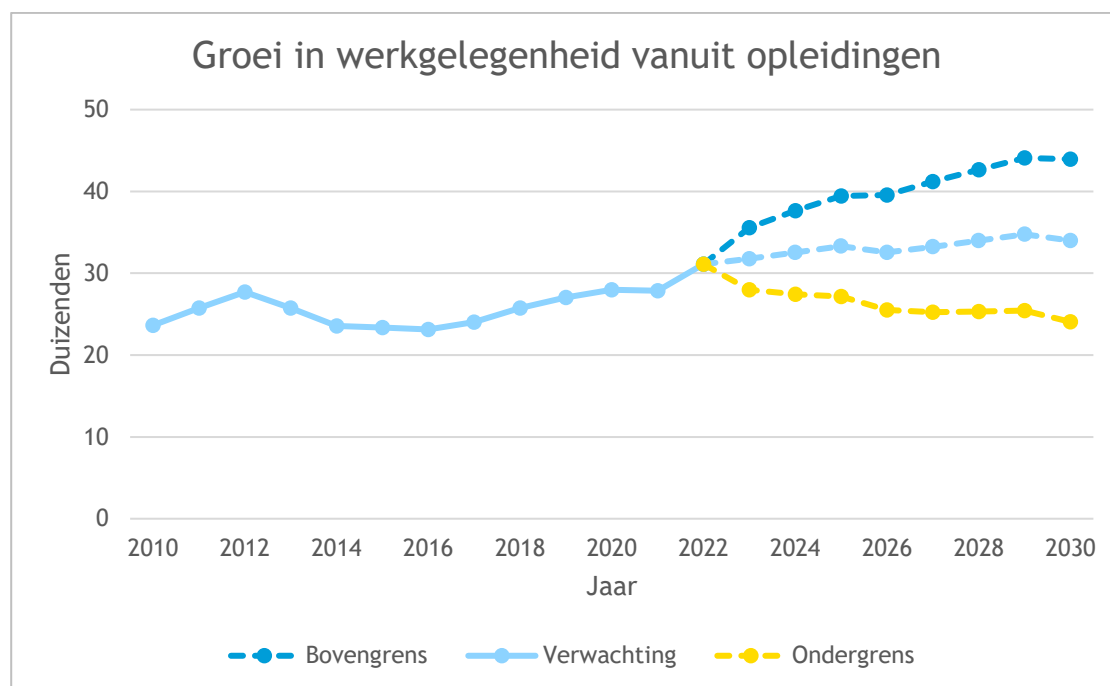
Bron: SEO Economisch Onderzoek.

Op basis van bovenstaande gegevens is het mogelijk om te voorspellen hoe de instroom vanuit opleidingen zich de komende jaren ontwikkelt. Figuur 30 laat dit zien. Naast de verwachte trend wordt er in de figuur ook een onder- en bovengrens aan de groei weer-gegeven op basis van een 95%-betrouwbaarheidsinterval. Naar verwachting neemt de



instroom vanuit opleidingen toe naar een kleine 34.000 fte in 2030 (een stijging van zo'n 3.000 fte per jaar). Dit scenario is waarschijnlijk als (internationale) studenten vaker kiezen voor een relevante waterstofopleiding dan voor een andere opleiding. In het slechtste scenario is er geen sprake van groei, maar van krimp. Het aantal zal dan uitkomen op een kleine 24.000 fte. Dit scenario is waarschijnlijk als de bevolkingsgroei sterker afneemt door vergrijzing.

**Figuur 30 - Verwachte groei in werkgelegenheid vanuit opleidingen. Rondom de trendlijn wordt een 95%-betrouwbaarheidsinterval weergegeven**



Bron: SEO Economisch Onderzoek.

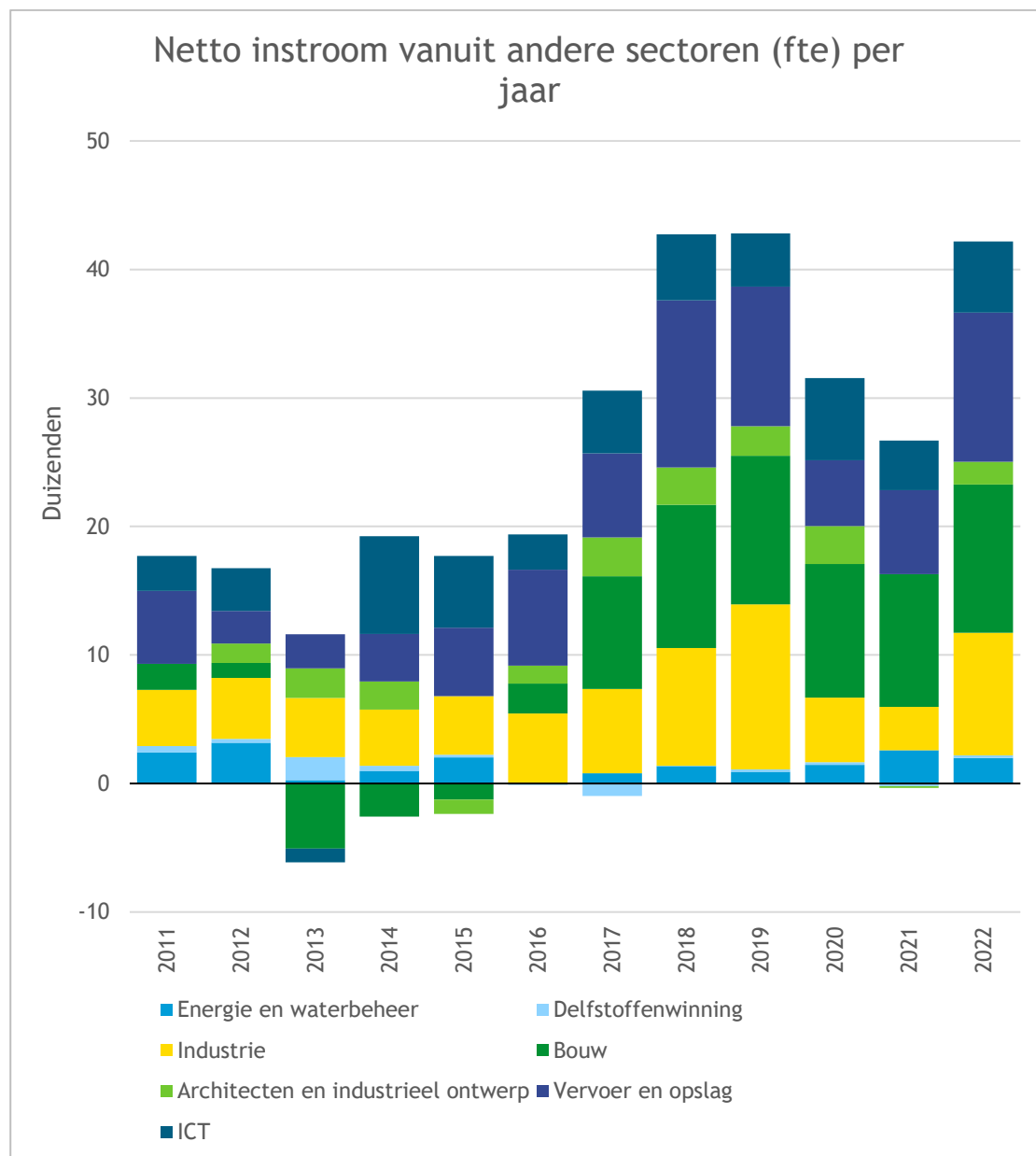
## 5.5 De instroom vanuit andere sectoren (zijinstroom)

Verder is het mogelijk dat de totale werkgelegenheid van de waterstofsector groeit of krimpt doordat mensen van baan wisselen. Dit wordt ook wel instroom of weglek genoemd. Figuur 31 toont de netto instroom (verschil instroom en weglek) in fte in sectoren die de waterstoftransitie moeten vormgeven. De netto instroom van de gehele waterstofsector volgt de conjunctuur: in periodes waarin het economisch minder gaat kent de waterstofsector minder netto instroom en in de huidige hoogconjunctuur stijgt de netto instroom. Verder is duidelijk te zien dat de netto instroom verschilt per sector en dit impliceert dat sommige sectoren gevoeliger zijn voor conjunctuurbewegingen in de economie dan andere sectoren. Een voorbeeld hiervan is de bouwsector die rond 2013 meer werkgelegenheid ziet vertrekken dan ziet instromen. Vervoer en opslag en industrie groeien ieder jaar in de periode 2010-2022, hoewel de groei in fte's per jaar sterk fluctueert. ICT laat eenzelfde beeld zien met uitzondering van het jaar 2013. In dit jaar is dus sprake van weglek. De sector energie en waterbeheer laat een vrij constante groei zien in aantal fte's gedurende de hele periode (met uitzondering van het jaar 2016). Deze sector lijkt daarmee een stuk minder conjunctuurgevoelig. Ten slotte laten de sectoren 'Architecten en industrieel ontwerp' en 'Delfstoffenwinning' in deze twaalfjarige periode in respectievelijk drie en twee jaren krimp zien in de instroom. Ook laten deze sectoren een grote variatie



zien in de instroom van fte's over tijd. Dit geeft mogelijk aan dat deze sectoren sterk conjunctuur gevoelig zijn. De regio's waar de sterkste zijinstroom uit de regio Rijnmond, Zuidoost Brabant en Utrecht.<sup>19</sup>

**Figuur 31 - Netto instroom vanuit andere sectoren in sectoren die van belang zijn voor de waterstoftransitie. Bewerking van CBS-microdata.**



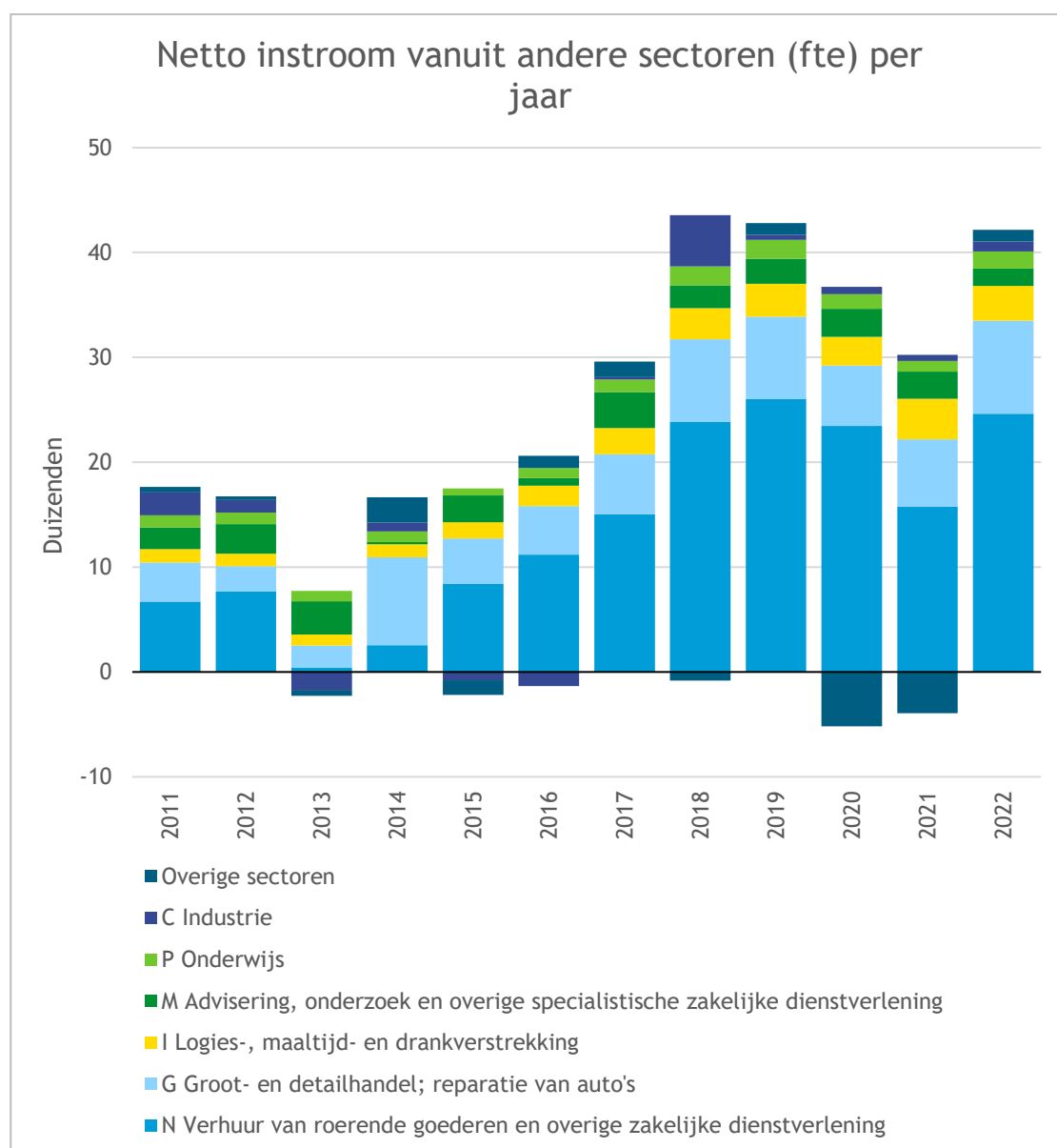
Bron: SEO Economisch Onderzoek.

<sup>19</sup> Figuur 38 in Bijlage D.



Figuur 32 laat vervolgens zien uit welke sectoren zijinstromers de overstap maken naar sectoren die een rol spelen in de waterstoftransitie. De grootste instroom komt vanuit de sectoren verhuur van roerende goederen en overige zakelijke dienstverlening<sup>20</sup> gevolgd door groot- en detailhandel inclusief de reparatie van auto's. In mindere mate wordt de overstap gemaakt vanuit de logies-, maaltijd- en drankverstreking sector. Hetzelfde geldt ook voor het onderwijs en de sector advisering, onderzoek en overige specialistische zakelijke dienstverlening. De sector industrie en overige sectoren hebben in sommige jaren een positief effect op de netto-instroom. In andere jaren is dit effect negatief.

Figuur 32 - Herkomst instroom van werknemers uit sectoren die instromen in de waterstoftransitie. Bewerking van CBS-microdata.

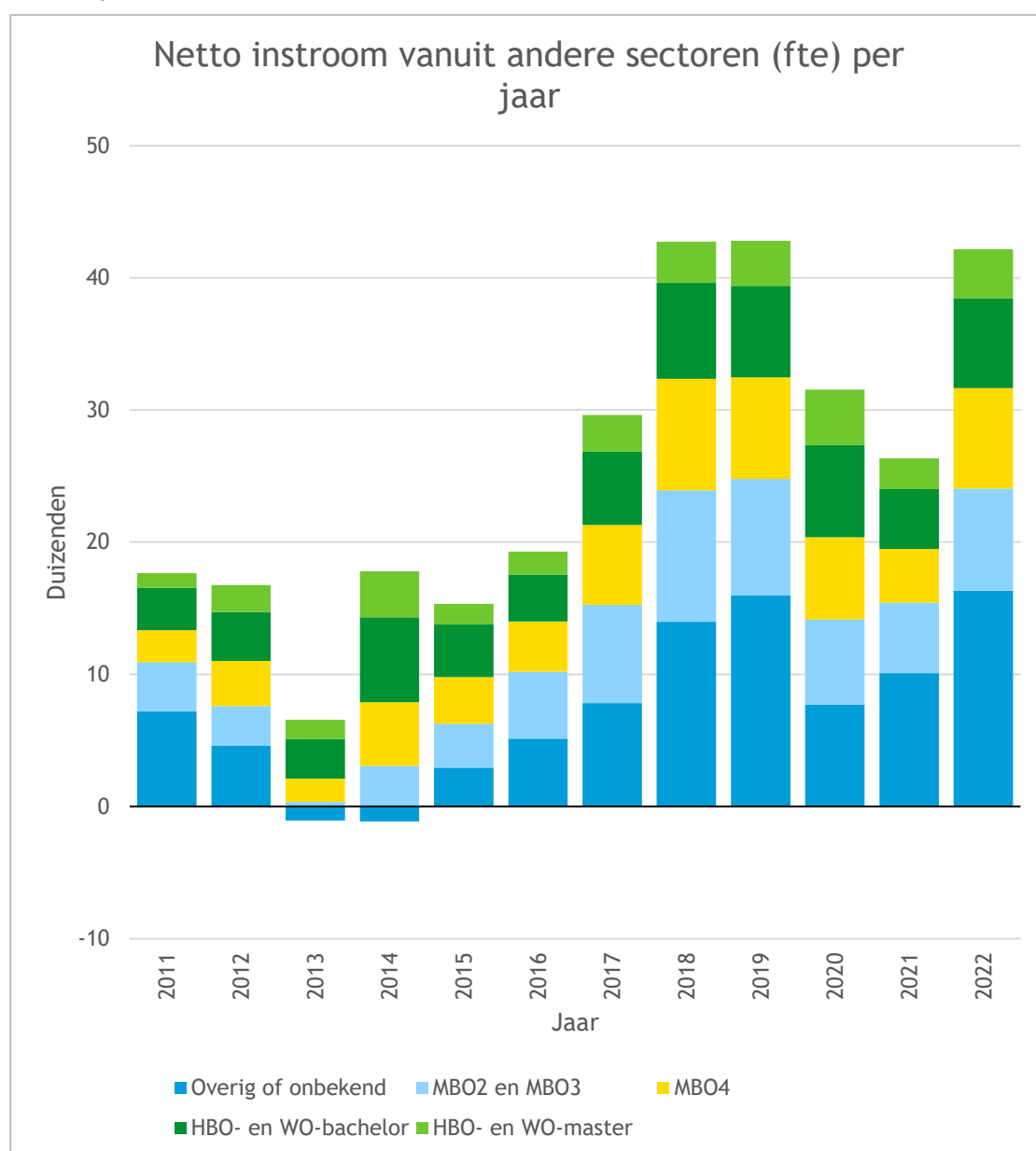


Bron: SEO Economisch Onderzoek.

<sup>20</sup> Deze sector bevat grotendeels de 'uitzendsector'. Je ziet hier het fenomeen dat uitzendkrachten doorstromen van een uitzendcontract in een sector naar een baan in loondienst.

Figuur 33 toont het opleidingsniveau van de netto instroom uit andere sectoren. Het aantal hoogopgeleide zijinstromers (hbo- en wo-bachelor en hbo- en wo-master) is relatief constant sinds 2017. Voor 2017 was deze groep kleiner. Eenzelfde patroon is zichtbaar voor zijinstromers met een mbo 2-, mbo 3-, of mbo 4-opleiding. Verder valt op dat de instroom waarvan het opleidingsniveau overig of onbekend is toeneemt vanaf 2017. Het gaat hier vermoedelijk vooral om buitenlandse uitzendkrachten en/of oudere werknemers. Een mogelijke verklaring voor de toename in mobiliteit is de periode van hoogconjunctuur. In de jaren daarvoor was dit niet het geval, hetgeen tot minder vraag naar arbeidsmigranten leidde en ouderen minder aanzette tot een verandering van baan.

Figuur 33 - Netto instroom vanuit andere sectoren naar opleidingsniveau. De categorie overig of onbekend omvat werknemers waarvoor geen opleidingsniveau geregistreerd is of een lager niveau hebben dan mbo 2. Bewerking van CBS-microdata.



Bron: SEO Economisch Onderzoek.



Wat betreft toekomstverwachtingen constateren we dat het aantal zijinstromers sterk samenhangt met de economische conjunctuur. Dat valt te zien door als het economisch voorspoedig gaat mensen eerder van baan wisselen dan wanneer het economisch minder goed gaat. Het maken van ramingen op basis van een kortere periode (2011 tot en met 2022) is dan ook minder verstandig. Beleidsadvisering die hieruit volgt is dan ook om anticyclisch te blijven investeren in de sector om te zorgen dat personeel ook in economische laagconjunctuur gemakkelijker de keuze maakt om over te stappen. Een tweede belangrijk aspect om op te merken is dat we voor het in kaart brengen van de zijinstroom alleen kijken naar de netto instroom van de waterstofsector ten opzichte van de rest van alle sectoren. Een kanttekening hierbij is dat er natuurlijk ook sprake van veel mobiliteit tussen subsectoren binnen de waterstofsector zelf is. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan de verschuiving van mensen die momenteel werkzaam zijn in de opwekking van fossiele energie naar toekomstige banen in de opwekking van hernieuwbare energie. Verschuivingen binnen de afbakening uit Paragraaf 5.2 zien we niet terug in de hierboven gepresenteerde cijfers.

## 5.6 De instroom vanuit het buitenland (arbeidsmigratie)

Arbeidsmigratie is een andere route van arbeidsaanbod om de waterstoftransitie mogelijk te maken. Daarom analyseert deze paragraaf de mogelijkheden van arbeidsmigratie<sup>21</sup> voor de waterstofsector. In absolute zin neemt het aantal fte aan arbeidsmigranten in de waterstofsector in de afgelopen jaren toe en vanaf 2017 gebeurt dit sneller dan eerst. Arbeidsmigranten in de waterstofsector werken voornamelijk in de ICT- en de industrie-sector, waar het merendeel een relatief hoog loon verdient. Arbeidsmigratie is in 2022 goed voor bijna 7% van het arbeidsaanbod in de infrasector.

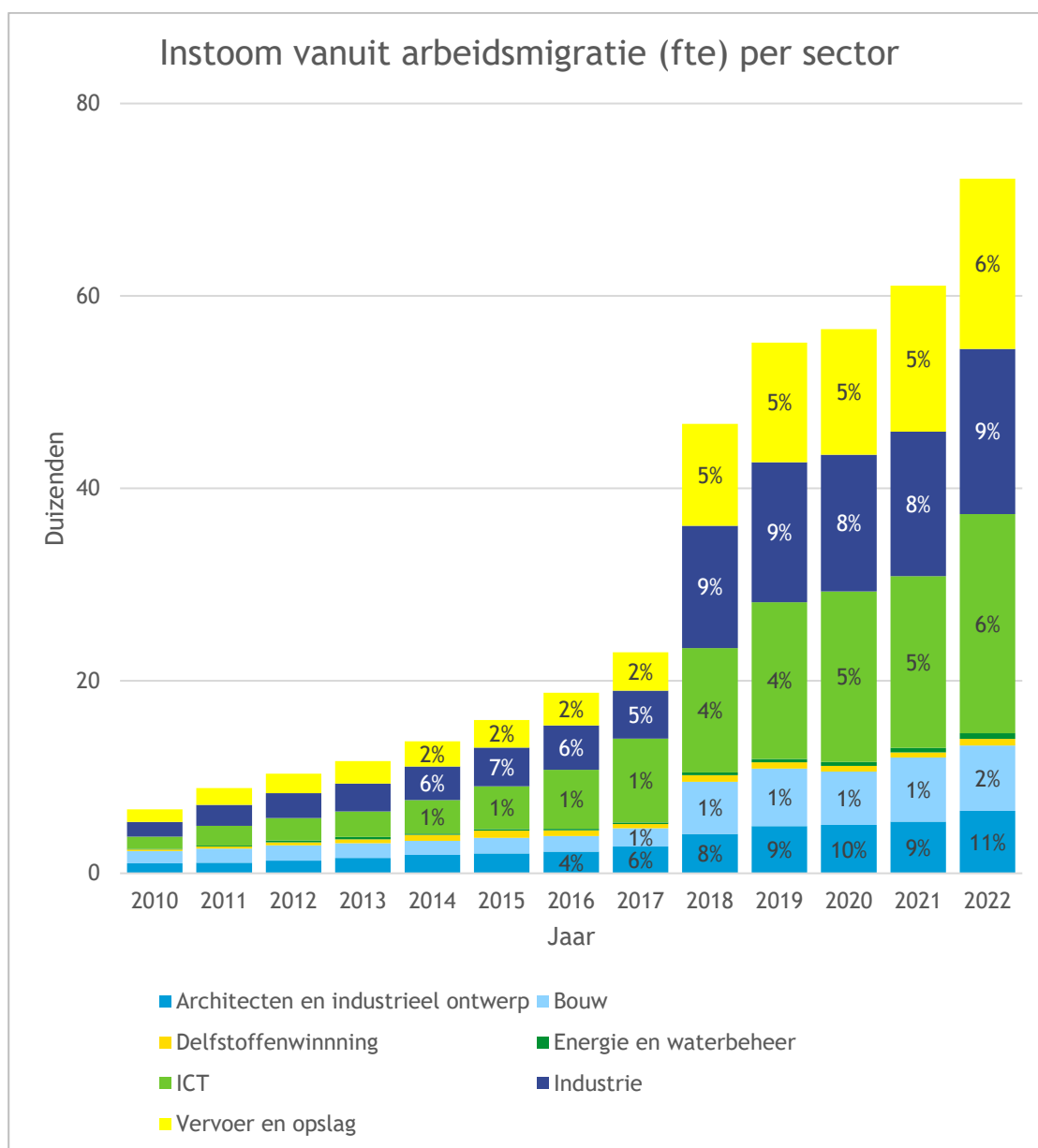
### Huidig aantal arbeidsmigranten

Figuur 34 laat zien dat het aantal arbeidsmigranten over tijd toeneemt. Het arbeidsaanbod vanuit arbeidsmigratie is gelijk aan ruim 72.000 fte. Dit is een forse stijging ten opzichte van 2010. Arbeidsmigratie is daarmee goed voor bijna 7% van het totale fte in de waterstofsector. Verder valt op dat het aantal arbeidsmigranten versneld vanaf 2018. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat arbeidsmigranten langer in Nederland werkzaam blijven.<sup>22</sup> Op het moment dat de economie aantrekt, stijgt ook het aantal arbeidsmigranten dat zich voor langere tijd in Nederland vestigt. Als gevolg hiervan stijgt ook het aantal arbeidsmigranten in de gehele werkzame beroepsbevolking.

<sup>21</sup> Arbeidsmigranten worden gedefinieerd als alle personen met een niet-Nederlandse achtergrond die binnen drie maanden na hun komst naar Nederland werkzaam zijn. Daarnaast omvat deze groep ook mensen die niet in Nederland ingeschreven staan, maar hier wel werkt. Arbeidsmigranten zijn werknemers die op het peilmoment (juni) van een bepaald jaar in de infrasector werken en die niet in Nederland geboren zijn en in de periode sinds de maand juni van het voorafgaande jaar voor het eerst in Nederland zijn aangekomen. Het gaat dus niet om migranten die op een andere manier in de infrasector zijn terechtgekomen, bijvoorbeeld via gezinshereniging of als tweede generatie zonder Nederlands paspoort. Daarnaast bevatten deze cijfers niet de arbeidsmigranten die als uitzendkracht werken voor inlenende bedrijven in de infrasector. Het is bekend dat arbeidsmigranten vaak via uitzendwerk in Nederland werken, maar het achterhalen van de inlenende sector is niet goed mogelijk. De methode voor het identificeren van arbeidsmigranten sluit zo veel mogelijk aan bij eerder onderzoek naar arbeidsmigratie, zie Heyma & Vervliet (2022).

<sup>22</sup> Zie: [Arbeidsmigratie in 2030 \(abu.nl\)](https://www.abu.nl/).

Figuur 34 - Percentage instroom vanuit het buitenland in sectoren die relevant zijn voor de waterstoftransitie. Bewerking van CBS-microdata.



Bron: SEO Economisch Onderzoek.

Figuur 34 splitst de instroom van arbeidsmigratie uit per sector die een rol speelt in de waterstoftransitie. In absolute aantallen neemt arbeidsmigratie in iedere sector toe. Echter is de relatieve groei van het aantal fte arbeidsmigranten verschillend per sector. De sectoren architecten en industrieel ontwerp en de bouw zien het percentage arbeidsmigranten over tijd dalen (respectievelijk van 16 naar 9% en van 19 naar 9%). Deze sectoren zijn wel in absolute zin toegenomen, maar dus niet in relatieve zin. Voor de sectoren ICT, en vervoer en opslag is dat niet het geval. Zij maken steeds meer gebruik van arbeidsmigranten en zien daardoor hun aandeel niet alleen absoluut, maar ook relatief stijgen (respectievelijk van 19 naar 32% en van 19 naar 25%). De overige sectoren blijven redelijk constant over tijd.

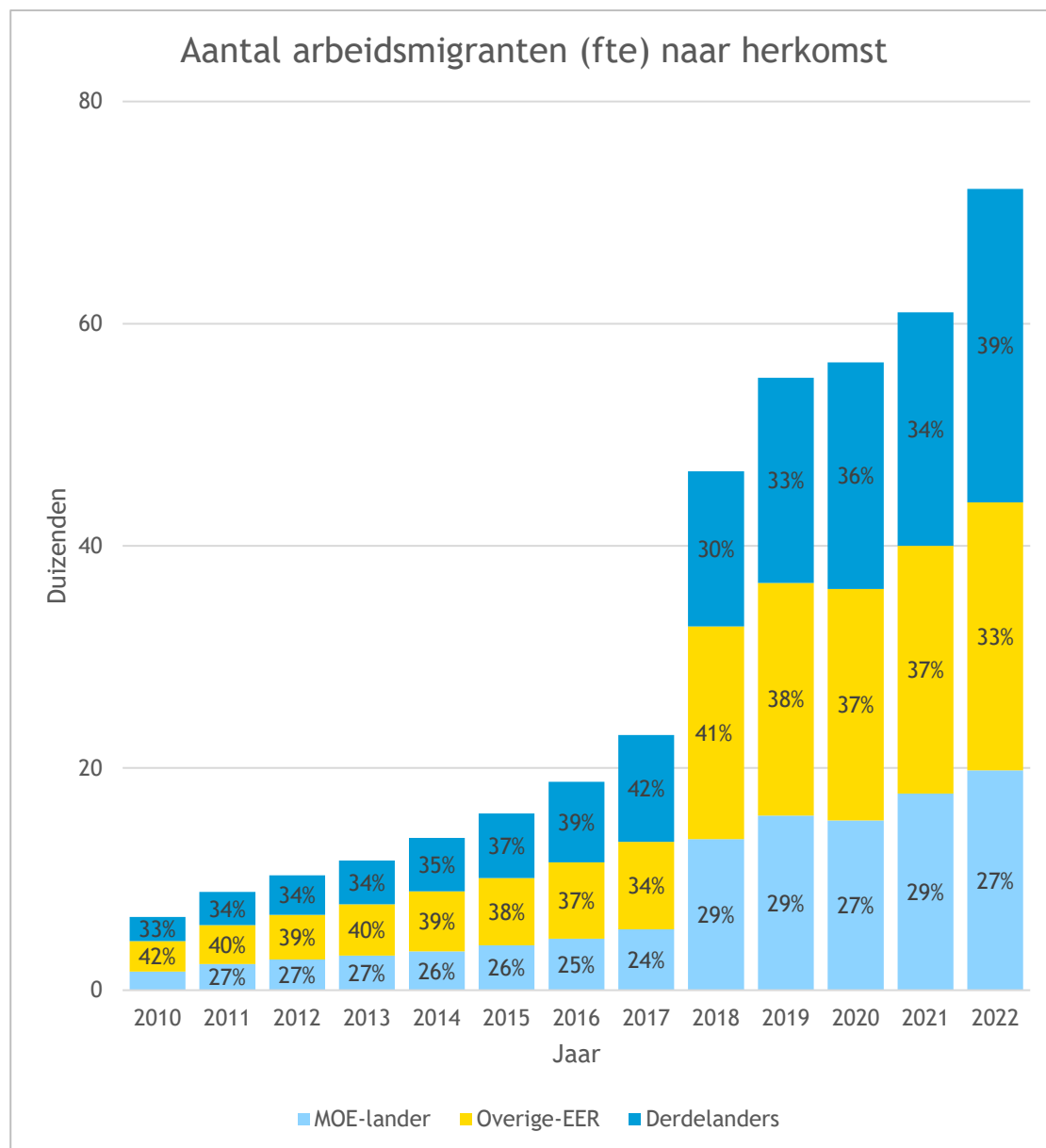


## Herkomst

Figuur 35 toont de landen van herkomst van arbeidsmigranten. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen drie categorieën:

1. De landen in Midden- en Oost-Europa (MOE-landen).
2. Personen uit andere landen binnen de Europese Economische Ruimte (EER).
3. Personen van buiten de EER, de zogenaamde derdelanders.

Figuur 35 - Percentage instroom naar herkomst. Bewerking van CBS-microdata.



Bron: SEO Economisch Onderzoek.

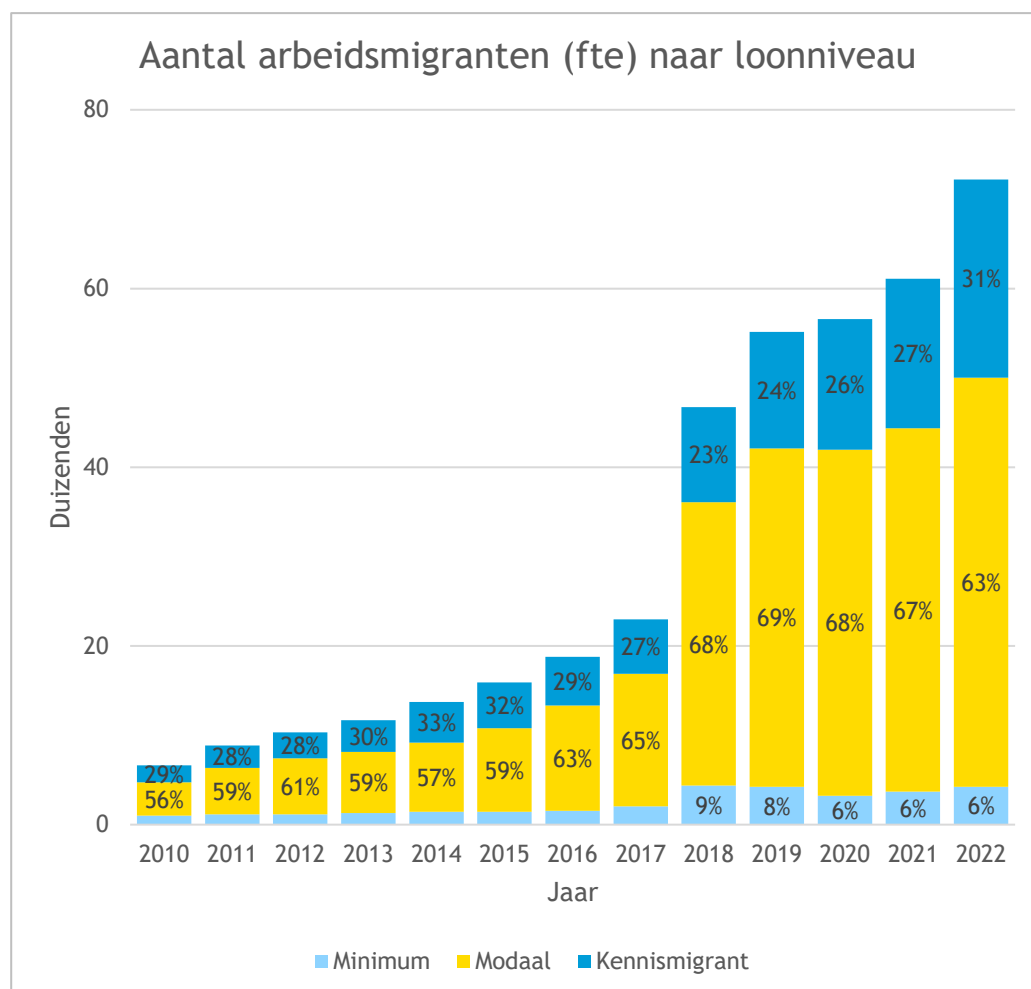
Figuur 35 laat zien dat in 2022 het grootste deel van de arbeidsmigranten derdelanders zijn (39% in 2022), gevolgd door migranten uit de overige-EER (33% in 2022) en MOE-landen (27% in 2022). In de jaren hiervoor kwam het merendeel van de arbeidsmigranten uit de overige-EER in plaats vanuit derde landen (met uitzondering van de jaren 2016 en 2017). Een verklaring hiervoor is dat voor de waterstoftransitie kennis een vereiste is die niet in voldoende mate binnen de EER aanwezig is.

## Loonniveau

Door de groep arbeidsmigranten uit te splitsen naar loonniveau ontstaat een beeld van het functieniveau dat arbeidsmigranten vervullen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar drie niveaus op basis van het maandelijkse inkomen:

1. Minimum: personen die per maand minder verdienen dan het maandelijkse minimum-loon.
2. Modaal: personen die meer dan het minimum verdienen, maar minder dan de grens voor de kennismigrantenregeling.
3. Kennismigrant: personen voor wie het maandelijkse inkomen (en leeftijd) correspondeert met de hoogte van de grens voor kennismigrantenregeling.

Figuur 36 - Percentage instroom naar loonniveau. Bewerking van CBS-microdata.

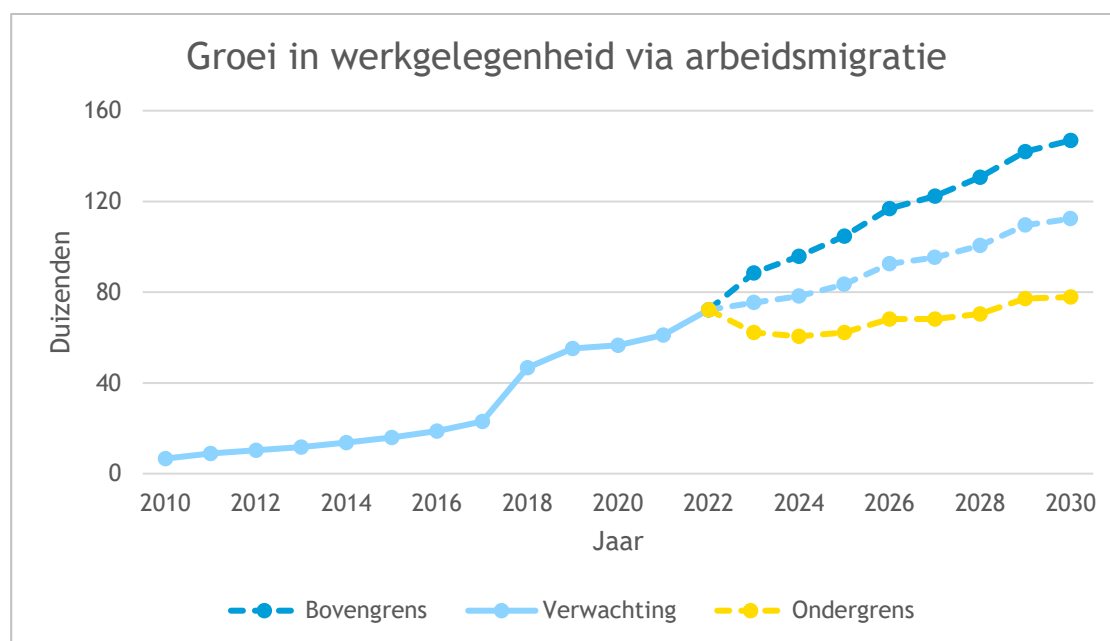


Bron: SEO Economisch Onderzoek.

Figuur 36 laat zien dat de groep kennismigranten en modaal groeien het sterkste in termen van fte. Dit is zowel absoluut als relatief. Dit is mogelijk een implicatie van het feit dat kennismigranten en hoger gekwalificeerd werk een belangrijke rol spelen in de waterstof-transitie.

Op basis van bovenstaande gegevens is het mogelijk om te voorspellen hoe de instroom via arbeidsmigratie zich de komende jaren ontwikkelt. Figuur 37 laat dit zien. Naast de verwachte trend wordt er in de figuur ook een onder- en bovengrens aan de groei weergegeven op basis van een 95%-betrouwbaarheidsinterval. Naar verwachting neemt de instroom via arbeidsmigratie toe naar ruim 112.000 fte in 2030 (een stijging van zo'n 5.000 fte per jaar). In het slechtste scenario is er geen sprake van groei, maar van stabilisatie. Het aantal zal dan uitkomen op een kleine 78.000 fte.

Figuur 37 - Verwachte groei in werkgelegenheid via arbeidsmigratie. Rondom de trendlijn wordt een 95%-betrouwbaarheidsinterval weergegeven



Bron: SEO Economisch Onderzoek.

## 5.7 Conclusie aanbodraming

### Wat is het verwachte arbeidsaanbod?

In dit hoofdstuk hebben we inzicht gegeven in de arbeidsaanbodzijde van de voor de waterstofeconomie relevante arbeidsmarkt. Op basis van deskresearch en interviews hebben we een lijst van relevante sectoren en opleidingen geïdentificeerd. De totale werkgelegenheid in deze sectoren tot en met 2030 ligt fors hoger dan de totale vraag vanuit de waterstofsector. Dit betekent dat er in principe voldoende aanbod van werkenden is om de vraag in de waterstofsector te bedienen.





De omvang van de werkgelegenheid in de relevante sectoren is onderzocht. Op dit moment zijn er in totaal 1,2 miljoen fte werkzaam in deze sectoren. De huidige jaarlijkse instroom in deze sectoren vanuit opleidingen, zijinstroom en arbeidsmigratie ligt de afgelopen jaren zo rond de 134.500 fte. Het gaat daarbij om een (orde van grootte) instroom vanuit het onderwijs van 27.500 fte, een instroom vanuit andere sectoren van circa 35.000 fte en een instroom vanuit het buitenland van 72.000 fte.

De instroom vanuit opleidingen zal naar verwachting de komende jaren slechts beperkt toenemen als gevolg van vergrijzing en zijinstroom beweegt vooral mee met de economische conjunctuur. De toename van de instroom zal de komende jaren dus vooral moeten komen vanuit het buitenland via arbeidsmigratie. Op basis van de huidige trends, voorspelt de raming dat de werkgelegenheid groeit naar ruim 1,3 miljoen fte in 2030.

Een belangrijke kanttekening hierbij is dat niet al deze mensen in de waterstofsector werkzaam zijn in de toekomst. Dit aantal hangt immers af van zowel de vraag naar arbeid in de waterstofsector (zie Hoofdstuk 4 van dit rapport) als van de vraag naar arbeid met deze kwalificaties en/of werkervaring in andere sectoren (hierover meer in Hoofdstuk 6).

# 6 Match van vraag en aanbod en handelingsperspectieven

## 6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk combineren we de vraag naar arbeid (Hoofdstuk 4) met het aanbod van arbeid (Hoofdstuk 5). Allereerst doen we dat door te laten zien dat de vraag naar de arbeid niet alleen door deze sector wordt gedreven. Dat doen we door een spanningsindicator te presenteren en de verwachte vraag en het aanbod kwantitatief te koppelen (zie Paragraaf 6.2). Daarnaast bespreken we bevindingen waar we de uitkomsten van de paragrafen aan elkaar relateren (zie Paragraaf 6.3). Vervolgens geven we kwalitatieve duiding en inzichten uit de interviews weer (Paragraaf 6.3). Waar sprake is van (verwachte) krapte, beschrijven we in Paragraaf 6.4 handelingsperspectieven; wat kunnen we doen om goed om te gaan met (tijdelijke) krapte op de arbeidsmarkt. Ten slotte eindigen we met een conclusie.

Dit hoofdstuk gaat dieper in op de volgende onderzoeksvragen:

- Wat is de verwachte toekomstige netto arbeidsvraag? (Paragraaf 6.2).
- Hoe kijken betrokken actoren naar de toekomstige arbeidsvraag? (Paragraaf 6.3).
- Welke kennis met betrekking tot waterstof is nodig en al in ontwikkeling? (Paragraaf 6.4).

## 6.2 Match van vraag en aanbod

### 6.2.1 Korte termijn

In Hoofdstuk 4 hebben we de vraag naar arbeid in fte gepresenteerd en in Hoofdstuk 5 geven we inzicht in het potentiële arbeidsaanbod. Op het eerste gezicht lijkt er voldoende aanbod om aan de vraag te voldoen. Toch wijzen alle gesprekspartners erop dat er problemen bestaan om de arbeidsvraag in te vullen. De reden is dat verschillende sectoren een beroep doen en blijven doen op het voor de waterstofsector relevante arbeidsaanbod. Het gaat dan vooral om technisch geschoold personeel in technische beroepen, de ICT, transport en logistiek. Ook geldt krapte in beroepen in transitie sectoren, zoals bij de verzwaring van het stroomnet, de groei van het aanbod van hernieuwbare stroom (RES-opgave), de elektrificatie van vervoer, de wens om van het aardgas af te gaan in de gebouwde omgeving, etc. Om alle plannen van opbouw en afbouw uit te voeren, zijn mensen nodig voor het isoleren van woningen, het plaatsen van zonnepanelen, het aansluiten van warmtepompen en het installeren van laadpalen voor elektrische auto's en tegelijkertijd voor het behoud en later de om- en afbouw van de huidige energievoorziening in Nederland. Deze vraag kan opgeteld worden bij de huidige vraag en de openstaande vacatures.

### Raming spanning korte termijn

Om de spanning op korte termijn in perspectief te plaatsen, gebruiken we een stockberekening waarbij het totale jaarlijkse aanbod relateren aan de totale vraag naar waterstofgerelateerde banen. Tabel 12 laat zien dat de cumulatieve vraag tot 2030 (111.000 fte), inclusief nieuwe vacatures, door middel van één volledige instromingsjaar op

de arbeidsmarkt kan worden ingevuld. Dit instromingsjaar in ons stock-model (cohorten) genereert dan extra aanbod voor de waterstoftransitie, zonder deze reservoirs in te zetten voor andere maatschappelijke opgaven zoals digitalisering of de zorg. Dit geeft aan dat hier sprake is van een forse extra vraag, in het licht van de spanningen die dus nu al op de arbeidsmarkt optreden.

Tabel 12 - Matching van vraag en aanbod, statisch perspectief

	Indicator	fte in duizend
Aanbod (per jaar)	<b>Aantal werkzame fte in relevante sectoren:</b>	<b>1.200</b>
	<b>Huidige jaarlijkse instroom</b>	<b>134,5</b>
	Opleidingen	27,5
	Zijinstroom	35
	Buitenland	72
Vraag (cumulatief in periode tot 2030)	Benodigde fte vanuit waterstof (totaal uit deze studie)	38
	Inschatting overige domeinen (middenwaarde)**	25
	Openstaande vacatures	48
	<b>Totaal</b>	<b>111</b>

\*\* Ecorys schat in dat de vraag naar arbeid in de energietransitie in 2030 zal oplopen tot (bruto) 23.000 tot 28.000 additionele arbeidsplaatsen. Het onderzoeksbureau hanteert hierbij twee scenario's waarin Nederland additionele maatregelpakketten invoert tot een CO<sub>2</sub>-reductie van respectievelijk 49 en 55% in 2030 te komen (en zet dat af tegen het basisscenario van 34%), in lijn met de publicatie 'Bestemming Parijs'.

## Spanningsindicator technisch personeel

Om nader inzicht te geven in de arbeidsmarktkrapte voor technisch geschoold personeel maken we gebruik van een spanningsindicator die het UWV heeft ontwikkeld, en ieder kwartaal publiceert.<sup>23</sup> Kort samengevat kijkt deze indicator naar het aantal openstaande vacatures voor bepaalde beroepen en de totale omvang van (beschikbare) werkzoekenden in die beroepen. Hoe hoger de waarde van de indicator des te meer spanning er binnen de sector bestaat.

De resultaten hiervan laten zien dat er veel vraag is naar technisch geschoold personeel. Zo is de spanningswaarde 4,92 voor technische beroepen, 13,02 voor ICT-beroepen en 3,65 voor transport- en logistiek-beroepen. Dit betekent dat sprake is van een zeer krappe arbeidsmarkt voor technisch geschoold personeel in deze beroepen. Voor technische beroepen en voor beroepen in de transport en logistiek geldt dit voor alle beroepsniveaus; voor ICT-beroepen vooral voor hogere beroepsniveaus.

Deze bevinding plaatst de relatief beperkte vraag ten opzichte van het ruime arbeidsaanbod in perspectief. Gegeven de 84.000 openstaande vacatures voor technische beroepen en nog eens 30.000 in zowel de ICT als transport en logistiek is een additionele tijdelijke vraag van ca. 40.000 fte vanuit de waterstofsector een serieuze opgave voor de korte termijn (tot 2030).

<sup>23</sup> Voor meer informatie over de uitleg van de methodiek verwijzen wij de geïnteresseerde lezer naar: <https://www.werk.nl/arbeidsmarktinformatie/dashboards/spanningsindicator>

## 6.2.2 Langetermijntrend

De analyse in de vorige paragraaf houdt geen rekening met dynamische effecten op de lange termijn die helpen om een nieuw evenwicht te bereiken. Hieronder gaan we in op hoe deze aanpassing kan verlopen.

### Energiesector is conjunctuurgevoelig

De techniek- en energiesector zijn relatief conjunctuurgevoelige sectoren. De huidige stand van de economie leidt tot een hoge vraag naar arbeid, maar in een afkoelende economie daalt die vraag (op basis van cijfers uit het verleden) vaak sterker dan in andere sectoren (Ter Weel & Lensink, 2022). Deze conjunctuurgevoeligheid is bijvoorbeeld zichtbaar tijdens de grote recessie en de daaropvolgende eurocrisis, waar juist in deze sectoren veel ontslagen zijn gevallen en de arbeidsvraag sterk is afgenomen.

### Afkoelende economie

Voor de langere termijn trend (tot en met 2030 in dit onderzoek) is het daarom belangrijk naar de macro-economische situatie in Nederland. Voor de periode tot en met 2030 raamt het CPB (2022) in een actualisatie van de middellangetermijnverkenning (MLT) een afkoelende economie met een oplopende werkloosheid van gemiddeld 4,2% in de periode 2018-2021 naar 4,4% in de periode 2022-2025 en 5,3% in de periode 2026-2030.

Tegelijkertijd neemt de economische groei relatief sterk af naar een niveau van 1,2% per jaar in de periode 2026-2030. Deze geleidelijk afkoelende economische ontwikkeling in Nederland remt langzaam de arbeidsvraag, waarbij een dalende toename van het arbeidsaanbod (tot bijna nul) als gevolg van vergrijzing en de behoefte aan vervanging van uittreeders een zachte landing tot gevolg heeft. Tegelijkertijd nemen na de huidige kabinetsperiode het begrotingstekort en de overheidsschuld verder toe, wat vraagt om bezuinigingsmaatregelen. Het begrotingstekort loopt in de CPB-raming op tot 3,5% van het bbp in 2030, waardoor een aantal ambities van sneuvelen wat de uitbreidingsvraag - waarschijnlijk ook in het behalen van energie- en klimaatdoelen - naar arbeid remt.

Het is belangrijk te vermelden dat er in de MLT van het CPB **geen** sprake is van een recessie of sterke conjuncturele neergang. De raming gaat uit van een beweging van de Nederlandse economie naar een langetermijnevenwicht, waarbij de werkloosheid tendeert naar een evenwichtswaarde (van 5,3%). Deze beweging naar het langetermijnevenwicht heeft directe invloed op de raming van de werkgelegenheid in de techniek- en energiesector: bij een economie die zonder conjuncturele neergang tendeert naar het langetermijnevenwicht daalt de (totale) arbeidsvraag en daarmee de (groei van de) werkgelegenheid.

### Daling arbeidsvraag halveert inspanning arbeidsmarkt waterstof

De omvang van de daling in de arbeidsvraag is door middel van tijdreeksanalyse te ramen. Ter Weel and Lensink (2022) ramen op basis van de CPB-MLT een beeld van blijvende, maar afnemende krapte op de Nederlandse arbeidsmarkt tot en met 2030. Ondanks de dalende economische groei en de oplopende werkloosheid blijft de vraag in de techniek- en energiesector tot 2026 hoog. Daarna halveert de arbeidsmarktspanning in de voor de waterstof-economie relevante sectoren en beroepen onder druk van de lagere economische groei, maar tot een niveau dat hoger is dan bij deze economische groei in het verleden zichtbaar was. Een belangrijke reden hiervoor is de afvlakkende groei van het arbeidsaanbod in de komende periode.

In de periode vanaf 2026 koelt de economie af en lijkt het erop dat er voldoende arbeidsaanbod is om aan de vraag in de waterstofsector te voldoen. In de periode tot en met 2025 is de arbeidsmarkt in de voor de waterstofsector relevante beroepen en sectoren zeer krap, waardoor het moeilijk is om voldoende arbeidskrachten te werven.

## 6.3 Kwalitatieve inzichten omtrent matching vraag en aanbod

### 6.3.1 Belangrijkste knelpunten uit de interviews

In de vorige paragraaf hebben we gekeken naar kwantitatieve inzichten, waarbij we constateren dat arbeidsmarktcraptes op korte termijn van invloed is op de ambities van de waterstofsector. Op de lange termijn (na 2025) leiden aanpassingsmechanismen en de economische conjunctuur tot een nieuw evenwicht tussen vraag en aanbod, waarin voldoende aanbod is om de vraag te bedienen. Deze paragraaf gaat dieper in op hoe betrokken actoren naar de toekomstige arbeidsvraag kijken en waar hoogstwaarschijnlijk knelpunten optreden.

#### Grootste knelpunt: tekort op mbo-niveau 3 en 4

Het grootste knelpunt dat in vrijwel alle interviews naar voren is gekomen is het relatief geringe aanbod van werkenden op mbo 3- en 4-niveau. Het gaat om beroepen en kennis en vaardigheden op het gebied van infrastructuur, elektrificatie en bouw. Voor beroepen met deze opleidingsniveaus zijn vaak specifieke opleidingen en eisen noodzakelijk. De aanwas vanuit deze opleidingen richting arbeidsmarkt wordt eerder kleiner dan groter en veel mensen met een relevante opmerking komen terecht in andere sectoren en beroepen of vallen na een relatief korte periode uit. Hierdoor ontstaat krapte, door een hoge vraag bij een relatief klein aanbod. Volgens de gesprekspartners hangt dit onder andere samen met het imago van de techniek, dat verbeterd dient te worden. Dat is een taak van werkgevers (stages, arbeidsvoorwaarden en cultuur) en opleidingen (goede voorlichting met een duidelijke rol van decanen en leraren).

#### WO-vacatures kunnen vaker worden vervuld door buitenlandse werknemers

In R&D zijn vooral werknemers op wo-niveau werkzaam en in toenemende mate gevraagd. Het gaat om werknemers met een masterdiploma of een PhD. Uit de interviews blijkt dat het vervullen van deze vacatures door arbeidsaanbod in Nederland uitdagend is, maar dat er geen grote problemen voor de toekomst worden voorzien. De reden is de internationale markt voor hoger opgeleiden met een relatief hoge mate van arbeidsmobiliteit. Veel vacatures kunnen worden vervuld, en worden vervuld met werknemers uit het buitenland. Ook veel ingenieurs op wo-niveau komen uit het buitenland. Dit kan leiden tot een knelpunt, aangezien buitenlandse werknemers vaak maar een beperkt aantal jaren in Nederland werkzaam blijven. Dit kan ertoe leiden dat kennis besloten in 'menselijk kapitaal' relatief snel verloren gaat wat vraagt om het goed vastleggen en codificeren van kennis en processen.

## Regionale verschillen kunnen leiden tot onvervulde arbeidsvraag en bieden ook kansen

Waterstof speelt vooral een grote rol in de industrieclusters in Nederland. Een aantal van die industrieclusters bevinden zich in de perifere regio's van Nederland (onder andere Eemshaven, Zeeland en Chemelot) en deze industrieën zijn bovendien moeilijk te verplaatsen. Werknemers zijn mogelijk minder bereid om naar deze regio's te verhuizen die als minder aantrekkelijk woon- en leefregio's worden gezien, waar bovendien mogelijk minder werk is voor partners. Ook speelt reistijd een rol: wo-opgeleiden zijn vaak flexibeler en bereid om verder te reizen voor hun baan dan mbo-opgeleiden die relatief sterk regionaal georiënteerd zijn. Dit kan leiden tot onvervulde vraag vooral op het gebied van mbo'ers. Dit kan de aantrekkelijkheid van het vestigingsklimaat (voldoende gekwalificeerd personeel in de industrieregio) voor de benodigde uitbreidingsinvesteringen onder druk zetten. Naast de toename van de vraag naar arbeid door de waterstoftransitie geven meerdere geïnterviewden aan dat er in bepaalde regio's ook sprake is van bovengemiddelde krimp en vergrijzing van de beroepsbevolking.

Aan de andere kant liggen juist in deze meer perifere regio's kansen om het arbeidsaanbod te stimuleren. De werkloosheid en participatie ligt hier op een relatief laag niveau waardoor arbeidsmarktregio's een kans zouden moeten kunnen zien in het (re)vitaliseren van deze groepen.

### 6.4 Handelingsperspectieven en benodigde kennis

Uit de knelpunten en de schets van vraag en aanbod komen de volgende handelingsperspectieven naar voren.

#### Systemdenken is belangrijk

De productie van waterstof kent vele technieken en toepassingen in verschillende sectoren (industrie, mobiliteit, gebouwde omgeving). Daarnaast omvat de waterstoftransitie niet alleen de productie van waterstof, maar ook de infrastructuur voor opslag, transport en distributie, en toepassingen door gebruikssectoren. Het is daarom belangrijk voor opleidingen om de rol van technische en chemische processen in een groter maatschappelijk systeem te bekijken en te plaatsen. Dit wordt onder andere door studies zoals van Constable et al. (2019) en Alanne (2018) ondersteund. Een studie van Alanne (2018) suggereert dat waterstof gerelateerde thema's in opleidingen behandeld moeten worden als een deel van een groter systeem in plaats van als enkele componenten en chemische reacties. Dit zou bijvoorbeeld kunnen plaatsvinden door gepersonaliseerde leeropdrachten aan te bieden aan verschillende werkgroepen, waarin zowel gedecentraliseerde als gecentraliseerde benaderingen voor waterstofproductie aan bod komen (Alanne, 2018). Bij het vormen van opleidings- en bijschoolprogramma's is het dus relevant dat er perspectief op de gehele waardenketen van de waterstoftransitie geboden wordt. Zo kunnen verschillende componenten en verbanden beter worden begrepen en is toekomstig personeel beter uitgerust voor de arbeidsmarkt van de waterstoftransitie. Hier biedt de connectie met het bedrijfsleven ook een handelingsperspectief: gesprekspartners wezen naar de mogelijkheden van het Duitse Dualstudium, waar theoretische kennis met kennis uit de industrie en het bedrijfsleven gecombineerd wordt. Studenten worden zo bewuster van daadwerkelijke toepassingen en posities in de waardenketen in de waterstofsector. Daarnaast nemen bedrijven de rol als opleider op zich, waardoor deels het tekort aan wetenschappelijk personeel in hogescholen en universiteiten gedekt kan worden. Initiatieven zoals de Techniepact en het Platform Talent voor

Technologie ondersteunen dit ook. Op gebied van waterstof ondersteunt Platform Talent voor Technologie het Human Capital-programma van GroenvermogenNL door kennis-behoefte en kennisontwikkeling van (groene) waterstof in kaart te brengen. Verder bieden Platform Talent voor Technologie en Techniepact de link naar de projectorganisatie 'Katapult'. Hier staan alle publieke samenwerkingen tussen onderwijs en het bedrijfsleven op een kaart staan vermeld. Deze samenwerking komt vaak terug in de vorm van Centres of expertise (CoE), Centra voor innovatief vakmanschap (CIV), Learning Communities, Field Labs of digitale werkplaatsen.

Daarbij is het van belang dat opleidingsinstituten gaan samenwerken met bedrijven uit de waardeketen om in beeld te brengen wat er in de komende jaren nodig is aan arbeid en hoe het curriculum hierop kan inspelen. Een voorbeeld hiervan is de Hogeschool Zeeland die een aantal jaar geleden aan aantal opleidingen heeft opgezet die zich richten op offshore wind. Hierbij hebben Scalda en het energiebedrijf Ørsted (hoofdcontractor voor de bouw van de windparken in Zeeland) studenten en volwassenen geschoold voor diverse functies, waaronder onderhoud en andere functies van de windparken (Campus Zeeland, 2023). In sommige regio's gebeurt dit al. Elke regio wordt ondersteund door de Techniepact, waardoor samenwerking tussen onderwijsinstellingen, werkgevers- en werknemersorganisaties verder gestimuleerd wordt. Er is momenteel wel al sprake van samenwerking tussen opleidingsinstituten en bedrijven op het gebied van waterstof, maar deze samenwerking zit vaak nog in een opbouwende fase.

## **Inzetten op bij- en omscholing**

De technische kennis voor de waterstoftransitie komt al terug in een breed scala van opleidingen in de reguliere opleidingstrajecten. Het creëren van nieuwe opleidingsprogramma's kost tijd. Studenten en personeel met de passende opleidingsachtergrond kunnen daarom bij- en omgeschoold worden om specifieke kennis op het gebied van waterstof te vergaren. Deze opleidingen kunnen zowel door publieke als private partijen worden ontwikkeld. Opleiders zelf moeten ook adequaat opgeleid worden en/of in staat worden gesteld de benodigde kennis en vaardigheden te verwerven in de sectoren die de waterstofeconomie ontwikkelen. Een modulaire opbouw van het curriculum biedt een aantrekkelijke optie om de opleiding en bijscholing te versnellen, waarbij ook private opleiders een deel van de opleidingen kunnen verzorgen. Een dergelijke opzet is flexibeler, heeft meer commitment van werkgevers en kan eenvoudiger aangepast worden aan de veranderende eisen ten aanzien van de (toekomstige) Human Capital Agenda.

## **Internationale samenwerking**

Ook landen kunnen beter samenwerken om het curriculum van opleidingen beter op elkaar af te laten stemmen waardoor uitwisseling van zowel (geschoold) personeel en schoolverlaters mogelijk is. Uniformiteit en een bepaalde van standaardisatie binnen het curriculum van het onderwijs tussen landen maakt het voor de afgestudeerden mogelijk om in verschillende landen aan het werk te gaan. Hierdoor wordt de relevante arbeidsmarkt groter en kunnen bedrijven uit een groter en internationaler aanbod putten. Een voorbeeld van dit soort samenwerking is T-shore. T-shore brengt dertien partners uit vijf Europese landen (België, Denemarken, Ierland, Noorwegen en Nederland) samen op het gebied van offshore wind. De organisatie heeft als doel de internationale privaat-publieke samenwerking op het gebied van onderwijs, onderzoek en ontwikkeling, gericht op offshore windsector, tot stand te brengen.

## Inspelen op de regionale verschillen

Waterstof speelt vooral een grote rol bij de industrieclusters in Nederland. Een aantal van die industrieclusters bevindt zich in de periferie van Nederland (onder andere Eemshaven, Zeeland en Chemelot). Nederlandse studenten zijn vaak minder bereid om naar deze regio's te verhuizen die als minder aantrekkelijk woon- en leefregio's worden gezien. Het aantrekkelijker maken van de woonregio en de daarbij behorende culturele voorzieningen kan als een belangrijk handelingsperspectief worden gezien. Daarnaast is het belangrijk om het arbeidsaanbod in deze regio's zelf te (re)vitaliseren. De werkloosheid is relatief hoog en de participatie relatief laag wat kansen biedt om de vraag (op termijn) in te vullen.

## Belangrijke thema's voor kennis, praktoren, lektoren en PPS

Zoals aangegeven, betreft de waterstoftransitie toepassingen in verschillende sectoren (industrie, mobiliteit, gebouwde omgeving). Hoewel uit de interviews is gebleken dat het momenteel nog te vroeg is om de specifiek benodigde kennis voor waterstof te definiëren kan wel geconcludeerd worden dat de kennis vooral wordt gezocht in de technische hoek. Kennisthema's zoals de elektrochemie, elektrotechniek, procestechologie, chemie, verbrandingstechnologie, de rol van waterstof in systeemintegratie en zelfs (micro)biologie staan centraal. Naast deze brede thema's is er een aantal specifieke thema's die voor verschillende regio's van belang zijn: door de aanwezigheid van grote netbeheerders is netcongestie een zeer urgent thema voor opleidingsinstellingen in het oosten van Nederland. Voor de vrachtvervoersector in het oosten en zuiden van Nederland is waterstof als toepassing voor mobiliteit een belangrijk thema. Een ander voorbeeld is de agrarische invalshoek voor samenwerking tussen onder andere Wageningen University, TNO en LTO Noord. Voor PPS en lektoren en praktoren zijn de kennisthema's dus afhankelijk van het betreffende industrie/energiecluster in bepaalde regio's. Door deze thema's in PPS of opleidingen te attenderen, ontstaan inzichten voor oplossingen voor lokale knelpunten die de energietransitie op dit moment vertragen (zoals netcongestie).

Net als in andere landen, richt veel onderzoek zich op het testen van grootschalige industriële PEM- en AE-elektrolyzers. Op dit gebied zijn er samenwerkingsverbanden van TKI Energie en Industrie en TNO en de Hanzehogeschool in Groningen. Vanwege de ambities en doelstellingen lijkt dit internationaal een van de meest voorkomende thema's voor onderzoek in PPS. Meer onderzoek over industriële elektrolyzers levert inzichten over de efficiëntie van elektrolyzers op, wat belangrijk is voor opschaling en marktintroductie. Academisch onderwijs en innovatie kan hier samengaan: inzet op efficiëntie-gerichte innovatie voor elektrolyzers betekent ook met minder grondstoffen en minder arbeidsuren meer economische waarde creëren.

Verder komt uit gesprekken met lektoren en praktoren het thema veiligheid, wet- en regelgeving en standaardisatie van richtlijnen en procedures naar voren. Bepaalde opleidingen hebben al de benodigde kennis maar nog niet de kennis over de vereiste veiligheids-certificeringen. Toekomstige modules moeten deze thema's adresseren. In een studie wordt al aangetoond dat hoe meer de student weet over waterstofveiligheid, hoe economischer hij of zij een op waterstof gebaseerd energiesysteem beschouwt in vergelijking met het huidige energiesysteem (Alanne, 2018). Andere thema's zijn opslag en conversie van waterstof. Ook in Learning Communities wordt dit geadresseerd. Dit wordt bijvoorbeeld in de Learning Communities van Universiteit Twente, Saxion, ROC van Twente en de H2Hub Almelo opgepakt. Daarnaast gaat deze Learning Community in op de toepassing van waterstof in mobiele eenheden in. De inzichten die voortkomen uit modules en Learning Communities hebben belangrijke implicaties voor de waterstoftransitie. Opslag en conversie verbeteren het efficiënte gebruik van waterstof, wat wederom belangrijk is voor duurzame





opshaling en competitie. Standaarden en certificeringen vormen een belangrijke basis voor het verloop van processen en activiteiten in de operationele fase. Ze helpen om de consistentie van processen en activiteiten te handhaven, kwaliteit te waarborgen en risico's te minimaliseren.

## 6.5 Conclusie

### **Wat is de verwachte netto arbeidsvraag?**

Wanneer we in eerste instantie de vraag en aanbod van arbeid ten behoeve van de waterstoftransitie over elkaar heen leggen, lijkt het totale beschikbare arbeidsaanbod voldoende om aan de arbeidsvraag te kunnen voldoen. Er bestaat echter ook vraag naar waterstofgerelateerde beroepen en kwalificaties vanuit andere subsectoren, en vooral andere domeinen van de energietransitie. Hierdoor is de vraag naar dit soort vaardigheden hoog, en de markt krap. De huidige arbeidsmarkt is al krap waar het gaat om ICT'ers en technici. Op de korte termijn zullen er naar verwachting grotere spanningen optreden tussen de vraag en aanbod van bepaalde beroepsgroepen, zoals bijvoorbeeld elektro-technisch ingenieur, machinemonteurs, elektriciens en elektronicamonteurs en productie-leiders industrie en bouw. Ondanks het ruime aanbod is er sprake van kwantitatieve krapte. De verwachting is dat het aanbod op langere termijn (vanaf 2025) voldoende is om de vraag te accommoderen, omdat de arbeidsmarkt zich zal aanpassen aan de nieuwe situatie (arbeidsmarkttheorie) en de conjunctuur komende jaren afkoelt (CPB, 2022). Daarbij zal ook meespelen dat de leercurve in de waardeketen op den duur zal leiden tot een grotere efficiency bij het ontwikkelen, installeren, en beheren van faciliteiten. Dus ook meer economische waarde met minder banen.

### **Hoe kijken betrokken actoren naar de toekomstige arbeidsvraag?**

Naast de kwantitatieve resultaten geven we ook een kwalitatief beeld van hoe betrokken actoren naar de toekomstige arbeidsvraag kijken en waar volgens hen knelpunten optreden. De verwachting is dat het tekort van geschikt personeel op mbo-niveau 3 en 4 het grootst zal zijn, specifiek op het gebied van infrastructuur, elektrificatie en bouw. De vraag op wo-niveau kan vaak ook gevuld worden door werknemers uit het buitenland. Een knelpunt die daar echter bij optreedt is dat buitenlandse werknemers vaak maar een beperkt aantal jaar blijven en er dus op termijn kennis verloren kan gaan. Tevens kunnen regionale verschillen leiden tot een toenemende onvervulde arbeidsvraag.

### **Welke kennis met betrekking tot waterstof is nodig en al in ontwikkeling?**

Uit de interviews is gebleken dat elektrochemie, elektrotechniek, procestechnologie, chemie, verbrandingstechnologie, rol van waterstof in systeemintegratie en (micro)biologie belangrijke kennisthema's zijn. Het is echter momenteel niet duidelijk om de specifiek benodigde kennis per toepassingsgebied verder te definiëren. Verder zijn een aantal thema's van belang voor bepaalde regio's, bijvoorbeeld netcongestie bij opleidingsinstituten in het oosten van Nederland, de vrachtvervoersector in het oosten en zuiden en de agrarische invalshoek voor samenwerking tussen onder andere Wageningen University, TNO en LTO Noord. Voor PPS, lectoren en praktoren zijn de kennisthema's dus afhankelijk van de betreffende toepassingsgebieden in bepaalde regio's.

Veel huidig onderzoek richt zich op het testen van grootschalige kleine industriële PEM- en AE-elektrolyzers. Verder zijn er samenwerkingsverbanden van TKI Energie en Industrie, TNO en Hanzehogeschool in Groningen. Daarnaast zijn voor lectoren en praktoren de thema's veiligheid, wet- en regelgeving en standaardisatie van richtlijnen en procedures onderwerpen waar aandacht aan wordt besteed. Andere thema's, die ook volgen uit learning communities, zijn opslag en conversie van waterstof.



# 7 Conclusie en aanbevelingen

## 7.1 Conclusie

In deze paragraaf geven we de conclusies van dit onderzoek weer. Per deelvraag beschrijven we de conclusies en schetsen we een beeld van de match van vraag en aanbod.

### Ontwikkelingen in het buitenland

- In dit onderzoek zijn ontwikkelingen in Frankrijk, Duitsland, België en Nederland met elkaar vergeleken. Samenwerking in de bouw van productiecapaciteit van waterstof met Frankrijk en Duitsland lijkt kansrijk gegeven de Nederlandse doelen en de plannen van België op het terrein van in- en doorvoer van waterstof vragen om coördinatie van ambities (bijvoorbeeld van de havens in Nederland).
- Er bestaan verschillen tussen de doelen en ambities omtrent waterstof van Frankrijk, Duitsland, België en Nederland. Iedere lidstaat vliegt de waterstoftransitie op een eigen manier aan. Duitsland en Frankrijk zetten actief in op het bouwen van eigen productiecapaciteit (inzet van elektrolyzers) en België zet vooral in op de in- en doorvoer van waterstof. De verschillen in doelen leiden ertoe dat er verschillende beleidsinstrumenten worden opgezet.
- België, Duitsland en Frankrijk geven alle drie aan dat er knelpunten op de arbeidsmarkt kunnen en waarschijnlijk zullen ontstaan. Het verschilt echter per land hoe concreet deze knelpunten zijn. Frankrijk loopt op dit gebied voorop en geeft aan in welke beroepen naar alle waarschijnlijkheid krapte zal optreden. België en Duitsland zijn minder concreet. Algemene knelpunten bestaan uit krapte op de markt voor technici, leraren en problemen met de omvang en kwaliteit van het arbeidsaanbod in structureel zwakkere arbeidsregio's.
- Ook op het gebied van het oplossen van arbeidsmarktknelpunten is Frankrijk het meest concreet. Frankrijk heeft verschillende programma's ontwikkeld waarin een koppeling wordt gemaakt tussen opleidingen en verschillende sectoren waarin waterstof toegepast zal gaan worden. België en Duitsland hebben geen concrete arbeidsmarktplannen voor de waterstofeconomie ontwikkeld.
- Naast concrete programma's om opleidingen en sectoren aan elkaar te koppelen worden een aantal algemene interventies genoemd om voldoende gekwalificeerd arbeidsaanbod te creëren. Voorbeelden zijn het opzetten van onderzoeksinstituten en competentiecentra, cross-sectorale opleidingsplatformen en samenwerking met buitenlandse kennis- en onderwijsinstituten.

### Marktontwikkelingen uit het verleden

- De diffusie en implementatie van nieuwe technologie in de productie van energie en het realiseren van netwerken met een voldoende schaal vergt een lange aanloopfase van ontdekken en testen, waarna de implementatie vooral veel uitvoeringscapaciteit en nieuwe wet- en regelgeving vergt.
- Marktontwikkelingen uit het verleden laten zien dat het proces van exploratie (ontdekken van de technologie) naar exploitatie (het grootschalig implementeren van de technologie) een lange adem vraagt. Overheidsbeleid blijkt cruciaal voor de uiteindelijke haalbaarheid van businesscases. De les hieruit is dat *transities tijd vergen* en rekening moet worden gehouden met langjarige arbeidsmarktaanpassing, ontwikkelen

van nieuwe lespakketten en her- en bijscholingsprogramma's. Arbeidsmarktbeleid is dus niet het zomaar een simpele interventie die de benodigde nieuwe mensen in enkele jaren voor deze transitie klaarstoomt.

- Een positieve businesscase is essentieel om technologische revoluties te laten slagen. Bij de drie cases (windenergie op zee, glasvezelnetwerken en aardgasvrije bouw) is verschillend beleid ingezet, variërend van stimulerende prijsprikkels tot verplichtende richtlijnen. De combinatie van prikkels speelt een belangrijke rol in het tot stand brengen van een positieve businesscase en heeft een direct effect op het implementatietempo van een techniek. Het beleid voor ontwikkeling van groene waterstof is op hoofdlijnen helder (EU-kader), maar zal in Nederland eerst geconcretiseerd en geïmplementeerd moeten worden alvorens ook investeringen en arbeidsmarktgevolgen materialiseren.
- Het belangrijkste knelpunt op de arbeidsmarkt in de drie casussen is krapte op de markt van technisch geschoold personeel op verschillende opleidingsniveaus. Flexibel arbeidsmarktbeleid is cruciaal om tempo erin te houden. Naast werkenden in Nederland is gebruik gemaakt van kennis en personeel uit het buitenland, wordt ingezet op aantrekkelijke (primaire en secundaire) arbeidsvoorwaarden en het adresseren van het belang van goede opleiding en ontwikkelingsmogelijkheden. Zowel door de nationale als regionale overheid is budget beschikbaar gesteld om de instroom in technische banen te stimuleren.

## CO<sub>2</sub>-arme waterstofketen en betrokken bedrijven

- De waardeketen van groene waterstof kan worden opgesplitst in upstream (import en lokale productie), midstream (transport en opslag) en downstream (eindgebruikers van groene waterstof in Nederland). Hoewel Nederland de op één na grootste producent is van grijze waterstof in Europa, staat de groene waterstofketen in Nederland nog in de kinderschoenen.
- De maakindustrie verwerkt grondstoffen en materialen tot halffabricaten en producten, zoals (onderdelen) voor elektrolyzers. Dit is van groot belang voor de upstream sector. In Nederland zijn een aantal bedrijven in Nederland die zich bezighouden met het ontwikkelen en produceren van elektrolyzers, veelal in het zuiden en oosten van het land. Deze bedrijven bevinden zich meestal nog in de startupfase en zijn dus vermoedelijk MKB en geen grootbedrijf.
- De productie van waterstof zal, zeker in de periode tot 2030, vooral worden uitgevoerd door enkele grote spelers in de up- en midstream. De verwachting is dat in eerste instantie vooral grote bedrijven in de industriesector actief zijn in de downstream waardeketen. De verwachting is dat naarmate de up- en midstream waardeketen opgezet is de toepassingen in downstream verder toenemen. Dit zal dan ook breder gaan dan alleen industrie (bijvoorbeeld ook mobiliteitssector) en kan worden opgepakt door zowel grote als mkb-bedrijven.
- Hoewel de regionale verdeling van de toekomstige waterstofketen erg onzeker is (en omgeven met aanzienlijke bandbreedtes) kan de keten wel worden gerangschikt naar Nederland, industrieclusters en havens. De upstreamactiviteiten vinden plaats in de havens, de midstreamtoepassingen in heel Nederland en de downstreamwaterstof-economie (in eerste instantie) in industrieclusters.

## Arbeidsvraag: beroepen en kennis

- In deze studie sluiten we aan bij de scenario's die in de Integrale Infrastructuurverkenning van de netbeheerders (II3050) zijn opgesteld. De bovengrens van de totale directe vraag naar arbeid is in de periode 2024-2030 ongeveer 38.000 fte. Dit kan worden onderverdeeld in bijna 31.000 fte tijdelijke banen en 7.000 cumulatieve permanente banen (jaarlijks ongeveer 1.000 fte).
- De benodigde beroepen, opleidingsniveaus en bijbehorende aantallen personeel verschillen per onderdeel van de waardeketen (up-, mid- en downstream) en de verschillende fasen (R&D, productie, transport & installatie, exploitatie & onderhoud). De arbeidsvraag is gericht op technisch geschoold personeel.
- Belangrijke kennisthema's die de arbeidsvraag aanwakkeren zijn elektrochemie, elektrotechniek, procestechnologie, chemie, verbrandingstechnologie, rol van waterstof in systeemintegratie en (micro)biologie. Per regio kunnen een aantal kennisthema's extra relevant zijn, bijvoorbeeld netcongestie (Oost-Nederland), vrachtovervoersector (Zuid- en Oost-Nederland) en de agrarische invalshoek.
- In deze analyse hebben we alleen gekeken naar de toename van de directe vraag naar arbeid als gevolg van investeringen in de waterstofsector. De vermindering van conventionele energie, afname van consumptie door investeringen in andere goederen of diensten (crowding out), en de toename van consumptie en investering door energiebesparing (rebound) zijn niet meegenomen.

## Relevante arbeidsaanbod

- Op dit moment zijn er 1,2 miljoen fte werkzaam in sectoren die relevant zijn voor de waterstoftransitie; in 2030 1,3 miljoen fte. De jaarlijkse instroom in deze sectoren vanuit opleidingen, zijinstroom en arbeidsmigratie ligt de afgelopen jaren rond de 135.000 fte. Het gaat daarbij om (orde van grootte) instroom vanuit het onderwijs van 28.000 fte, instroom vanuit andere sectoren van 35.000 fte en instroom vanuit het buitenland van 72.000 fte.
- De instroom vanuit opleidingen zal naar verwachting de komende jaren beperkt toenemen, doordat het aantal jongeren dat de arbeidsmarkt instroomt lager is dan de afgelopen jaren; zijinstroom beweegt vooral mee met de economische conjunctuur die afkoelt waarbij mogelijk de vraag naar fossiele energie ook daalt. Instroom vanuit het buitenland via arbeidsmigratie blijft daarom relevant.
- Het beschikbare arbeidsaanbod wordt in vele sectoren benut, niet alleen in de waterstofsector. Krapte in de markt van technisch geschoold personeel vormt op dit moment een belangrijke beperking. Daarnaast is aanbod op de thema's veiligheid, wet- en regelgeving en standaardisatie van richtlijnen en procedures ontwerpen van belang.

## Match vraag en aanbod

- Er is in de periode tot 2026 sprake van aanzienlijke arbeidsmarktkrapte, vooral voor technisch geschoold personeel. Dat beperkt de snelheid waarmee de waterstofeconomie kan worden gerealiseerd. De vraag naar kennis en vaardigheden om verschillende transitie te realiseren is zeer hoog en het beschikbare aanbod gering.
- Na 2026 koelt de economie af. Hierdoor wordt de markt voor elektrotechnische ingenieurs, machinemonteurs, elektriciens, elektronicamonteurs en productieleders industrie en bouw ruimer, maar blijft deze krap.

- Voortdurende krapte heeft gevolgen voor het groeitempo van productie en afname van groene waterstof in de economie. Er dient rekening gehouden te worden met vertraging van investeringen en realisatie. Deze vertraging spreidt de vraag naar arbeidskrachten over de tijd en verlaagt de druk op de arbeidsmarkt, maar leidt tot een later doelbereik van de waterstofeconomie.

## 7.2 Aanbevelingen

Hierna presenteren we onze aanbevelingen langs vier verschillende pijlers die zich richten op het verruimen van het aanbod en deze beter af te stemmen op de arbeidsvraag.

### Vergroot het potentieel zij-instromers

- a De potentiële groep zij-instromers vormt met 1,2 mln. fte een belangrijk deel van het aanbod dat met gerichte ondersteuning om- en bijgeschoold kan worden en de krapte aan technisch personeel kan verminderen.
- b Veel personeel komt komende jaren vrij in fossiele sector (onder andere vanuit beheer gasinfrastructuur, productie fossiele energie, toepassingen verbrandingsmotoren)
- c De Human Capital Agenda voor deze groep kan relatief eenvoudig concreet worden gemaakt. Deze programma's kunnen zich onder andere richten op ontwikkelen van elektrochemische expertise en veiligheidsvoorschriften bij nieuwe waterstofproductie- en toepassingen.
- d Een modulaire opbouw van het curriculum biedt een aantrekkelijke optie om de opleiding en bijscholing te versnellen, waarbij ook private opleiders een deel van de opleidingen kunnen verzorgen. Een dergelijke opzet is flexibeler, heeft meer commitment van werkgevers en kan eenvoudiger aangepast worden aan de veranderende eisen ten aanzien van de (toekomstige) Human Capital Agenda.
- e Om dit grootschalig op te zetten is het van belang dat bedrijven zowel financieel als fiscaal worden ondersteund.

### Vergroot het potentieel van afgestudeerden door samenwerking en systeemdenken

- f Samenwerkingen tussen opleidingsinstituten en bedrijven uit de waardeketen dienen tot doel te hebben het in beeld te brengen wat er in de komende jaren nodig is aan kwalificaties en hoe het curriculum hier op kan inspelen. Dit totaalbeeld ontbreekt nu.
- g Op het gebied van elektrotechniek, werktuigbouwkunde en duurzame energie-technologie zouden onderwijsinstellingen meer onderlinge samenwerking kunnen zoeken om een nationale onderwijsaanpak te ontwikkelen voor technici in waterstof.
- h Bij het vormen van opleidingsprogramma's is het relevant dat er perspectief op de gehele waardeketen van de waterstoftransitie geboden wordt. Waterstof gerelateerde thema's in opleidingen kunnen bij uitstek ingepast worden in opleidingen die het gehele energiesysteem omvatten, gezien de rol van waterstof in systeemintegratie.

### Maak het makkelijker om in Nederland aan de slag te gaan in waterstofsector

- i Arbeidskrachten die zijn ingezet uit *vorige transities* waren grotendeels afkomstig uit de internationale markt.
- j Standaardiseer richtlijnen en opleidingsvereisten in Noordwest-Europa, bijvoorbeeld met Frankrijk, België en Duitsland (overheid in samenwerking met bedrijven). Noordwest-Europese landen kunnen beter samenwerken om het curriculum van opleidingen beter op elkaar af te laten stemmen waardoor uitwisseling van zowel (geschoold) personeel en schoolverlaters mogelijk is. Uniformiteit en een bepaalde van standaardisatie binnen het curriculum van het onderwijs tussen landen maakt het voor de afgestudeerden mogelijk om in verschillende landen aan het werk te gaan.



- k De focus op Engelse taalvaardigheid moet worden versterkt, zowel om de verbinding tussen de industrie en industrieel toegepast onderzoek te bevorderen.

**Inspelen op regionale verschil**

- l Een aantal van die industrieclusters bevindt zich in de periferie van Nederland (onder andere Eemshaven, Zeeland en Chemelot). Het aantrekkelijker maken van de woonregio en de daarbij behorende culturele voorzieningen kan als een belangrijk handelingsperspectief worden gezien. Daarnaast is het belangrijk om het arbeidsaanbod in deze regio's zelf te (re)vitaliseren. De werkloosheid is relatief hoog en de participatie relatief laag wat kansen biedt om de vraag (op termijn) in te vullen.

**Calculeer mogelijke aanbodbeperkingen in beleid en projecten**

- m Accepteer dat opleidingen tijd kosten, en dat goed personeel er niet van de een op de andere dag is opgeleid (overheid).
- n Dit betekent dat ook in de beleidsdoelen en instrumentatie meer rekening moet worden gehouden met de tijd die het opbouwen van capaciteit op de arbeidsmarkt vergt.

## 8 Bibliografie

- Alanne, K. (2018). "A survey of Finnish energy engineering students' knowledge and perception of hydrogen technology". *International Journal of Hydrogen Energy* Volume 43, Issue 22, 31 May 2018, Pages 10205-10214.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.04.098>
- Andriessen, M. (2022). "Van pionieren naar massale uitrol. 20 jaar Fiber to the Home in Nederland". NL connect.
- Bundesinstitut für Berufsbildung. (2023). *Erste Abschätzung möglicher Arbeitsmarkteffekte durch die Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie bis 2030*. Bundesinstitut für Berufsbildung, Bonn.
- Campus Zeeland. (2023). "Energy Port Zeeland".  
<https://campuszeeland.nl/downloads/energy-port-zeeland.html>
- Centraal Planbureau. (2022). "Centraal Economisch Plan 2022".  
<https://www.cpb.nl/sites/default/files/omnidownload/Centraal-Economisch-Plan-CEP-2022.pdf>
- Constable, D.J.D, Jiménez-González, C., Matlin, S.A. (2019). "Navigating Complexity Using Systems Thinking in Chemistry, with Implications for Chemistry Education". *J. Chem. Educ.* 2019, 96, 12, 2689-2699. Publication Date: November 5, 2019  
<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00368>
- Dialogic (2016). "De toekomst van digitale connectiviteit in Nederland". Dialogic, Utrecht.
- ECN (2016). *Methodiek werkgelegenheid en energie: achtergrondrapport bij de Nationale Energieverkenning 2015*. ECN, Amsterdam
- Economisch Instituut voor de Bouw (2022). "Trends op de bouwwereldmarkt". EIB, Amsterdam.
- Energietransitie door Installateurs (2023). "Subsidies".  
<https://www.energietransitiedoorinstallateurs.nl/paginas/scholing/subsidies>
- Eurofiber (2023). "Alles wat u moet weten over glasvezel".  
<https://www.eurofiber.com/nl-nl/lifeline/kwaliteitsnetwerk/alles-wat-u-moet-weten-over-glasvezel>
- Eurofiber (2023). "Wat is glasvezel internet en hoe werkt het".  
<https://www.eurofiber.com/nl-nl/lifeline/kwaliteitsnetwerk/wat-is-glasvezel-internet-en-hoe-werkt-het>
- European Commission (2017). "State Aid SA.46613 (2017/N) - The Netherlands Broadband Rivierenland Region". Europese Commissie, Brussel.





- Fiber Carrier Association (2018). “Onderwijs, opleidingen en trainingen in de glasvezelbranche”.  
<https://fiber carriers.nl/wp-content/uploads/2021/08/fca-rapport-onderwijs-opleidingen-en-trainingen-in-de-glasvezelbranche.pdf>
- Fiber Carrier Association (2020). “Nederland op Glasvezel”.  
<https://fiber carriers.nl/wp-content/uploads/2021/08/FCA-Nederland-op-Glasvezel-2020.pdf>
- Fiberplus (2019). “A Brief History of Fiber Optic Cables”.  
<https://www.fiberplusinc.com/helpful-information/a-brief-history-of-fiber-optic-cables/#:~:text=In%201975%2C%20fiber%20optic%20cables,today%20to%20be%20a%20possibility>
- Hygro. (2023). “Double the energy from wind, with hydrogen as primary energy carrier”.  
<https://hy-gro.net/newsitem/double-the-energy-from-wind-with-hydrogen-as-primary-energy-carrier>
- IEA. (2019). “Offshore Wind Outlook 2019”. IEA, Parijs.
- Knol, E. (2018). “Invulling groeiende arbeidsvraag in offshore windsector vanuit offshore olie- en gasector”. Januari 2018. DOI: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”.
- Knol, E., Coolen, E. (2020). “Post 2030 offshore wind employment in the Netherlands”.
- Milieucentraal (2023). “Warmtenet zonder aardgas”.  
<https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/aardgasvrij-wonen/warmtenet-zonder-aardgas>
- PBL (2022). “Inzicht in arbeidsmarktknelpunten voor de uitvoering van het Klimaatbeleid”. PBL, Den Haag.
- Platform Talent voor Technologie (2023). “Voldoende mensen en capaciteit om de waterstoftransitie te realiseren”.  
<https://www.ptvt.nl/vraagstuk/voldoende-mensen-en-capaciteit-om-de-waterstoftransitie-te-realiseren>
- Provincie Zeeland (2023). “Aanleg glasvezel”. <https://www.zeeland.nl/economie/aanleg-glasvezel>
- PWC. (2022). Ohne Fachkräfte keine Energiewende - wie Kooperationen Abhilfe schaffen können.  
<https://blogs.pwc.de/de/auf-ein-watt/article/231791/ohne-fachkraefte-keine-energiewende-wie-kooperationen-abhilfe-schaffen-koennen/>
- RVO. (2022). “Dutch Offshore Wind Guide Your guide to Dutch offshore wind policy, technologies and innovations”. RVO, Utrecht
- RVO. (2023). “Plannen windenergie op zee 2030-2050”.  
<https://www.rvo.nl/onderwerpen/windenergie-op-zee/plannen-windenergie-op-zee>



Techniekpact (2023). “*Publiek privaat samenwerken*”.  
<https://www.techniekpact.nl/thema/publiek-privaat-samenwerken>

VolkerWessels (2023). “*Tijdljn Koninklijke VolkerWessels*”.  
<https://www.volkerwessels.com/nl/over-ons/historie>

WindEurope (2023). “*History of Europe’s Wind Industry*”.  
<https://windeurope.org/about-wind/history/>



# A Factsheets landenonderzoek



# Factsheet: Duitsland

## Doelen en ambities

### Nationale waterstofstrategie

- Duitsland zou een aanzienlijk deel van de geplande Europese elektrolyse capaciteit uit kunnen maken. Zo voorziet de Duitse regering 5 GW aan waterstof genererende fabrieken in 2030 (dit staat gelijk aan 14 TWh waterstofproductie en 20 TWh duurzame stroom). In 2040 moet daar een additionele capaciteit van 5 GW bijkomen [3].
- In 38 maatregelen omschrijft de Duitse waterstofstrategie het ontstaan van een nationale en internationale waterstof markt in 2030. De maatregelen beginnen met het vaststellen van een goede basis, zoals het gebruik van hernieuwbare energie en een CO<sub>2</sub>-prijs. Vervolgens gaan de maatregelen op toepassingsgebieden zoals verkeer, infrastructuur, industrie of warmte in. Ook wordt brede aandacht besteed aan onderzoek, onderwijs en internationale handel- en samenwerking [3].
- Momenteel heeft Duitsland een groot aandeel in de bestaande IPCEI-projecten om technologieën en systemen voor een Europese waterstof waardeketen te ontwikkelen. Inmiddels telt Duitsland 62 projecten met een financiële ondersteuning van € 8 miljard. De financiering hiervoor komt mede uit het DARF (Deutscher Aufbau und Resilienzplan) [4].
- In het realiseren van de waterstof ambities speelt Europese samenwerking voor Duitsland een grote rol. In hun nationale waterstofstrategie refereren zij naar de ambities als ‘europäisches Gemeinschaftsprojekt’ (Die Nationale Wasserstoffstrategie 2020) en streven naar samenwerking met EU-lidstaten aan de Noord- en Oostzee en Zuid-Europa voor de generatie van hernieuwbare energie [2]. Ook het Duitse beleidsinstrument H2Global is niet alleen voor de Duitse waterstofmarkt bedoeld maar moet ook een globale markt voor waterstofproducten faciliteren [6].

## Beleidsinstrumenten

### Nationale subsidies

- Door de Nationale Waterstof Strategie is er € 7 miljard voor de bevordering van waterstoftechnologieën en € 2 miljard voor internationale verbanden voor waterstof vrijgesteld [4].
- Daarnaast telt Duitsland ongeveer vijftien algemene subsidies ter bevordering van duurzame energie (waaronder waterstof). Deze subsidies gaan zowel in op innovatie en onderzoek zoals opschaling. Middels verschillende programma's is € 1,1 miljard gereserveerd voor toepassingsgericht onderzoek naar groene waterstof. € 1 miljard gaat naar de verduurzaming van de industrie door onder andere waterstof. Gespecificeerd op waterstof zijn de volgende subsidies [6]:
  - H2 Global (€ 900 miljoen): Dit is een tijdelijke compensatie van het verschil tussen korte termijn vraag/inkoop- en lange termijn aanbod/verkoopprijs voor groene waterstof en Power to X (PtX)-producten van projecten met een minimale omvang van 100 MW elektrolyse. De productie moet buiten de EU en EFTA plaatsvinden. Via een competitieve biedprocedure moet dit instrument de globale vraag en aanbod markt van groene waterstof en PtX-producten bevorderen.

## Ontwikkelingen

### Nationale initiatieven

- Het Duitse waterstofbeleid noemt een breed scala aan duurzame waterstof technologieën die kunnen bijdragen aan de transitie, met een focus op groene waterstof. Drie leidende waterstofprojecten werden met € 740 miljoen gefinancierd. Ruim 100 partners zijn bij deze onderzoeksprojecten betrokken [7]:
  - H2Meer: de mogelijkheden om waterstof direct op zee in combinatie met windenergie te produceren. Een groot aantal partners zijn betrokken bij dit project (KIT, Fraunhofer Institut) en meerdere universiteiten.
  - TransHyDE: Om waterstof-en klimaatambities te realiseren is goede infrastructuur cruciaal. Daarom beoogt het TransHyDe-project de ontwikkeling betrokken, zowel uit de industrie (Siemens, Northland Power Europe) als ook uit de academia (Karlsruher Institut für Technologie van waterstoftransport in hogedrukvaten, bestaande gasleidingen of waterstof gebonden in ammoniak of vloeibare organische chemische verbindingen. Hierbij worden ook benodigde standaarden en certificaten onderzocht.
  - H2Giga: In dit project staat een productielijn van water elektrolyzers en diens kosten-



- NIP (National Innovation Programme Hydrogen and Fuel Cell Technology- R&D en Market Innovation (€ 1,4 miljard van 2016-2026): Het ministerie voor verkeer en digitale infra-structuur wil middels deze subsidie onderzoek en de activering van een markt voor brandstofcellen en waterstoftechnologieën in het verkeer bevorderen. De hoogte van de subsidie hangt af van het project en de omvang daarvan. Er moet sprake van een duidelijk milieuvoordeel in vergelijking met de conventionele technologie zijn. Verder moet het om producten gaan die klaar voor de markt maar nog niet competitief zijn. Deze subsidie betreft bedrijven, kennisinstellingen, universiteiten en openbare inrichtingen met een vestiging in Duitsland.
- Internationale H<sub>2</sub>-projecten: Dit is een bevordering van internationale innovatieve projecten, die zonder subsidie niet rendabel zouden zijn. Het perspectief van deze internationale projecten en samenwerkingsverbanden moet op de gehele waardeketen liggen. De gefinancierde investering moet daarna drie jaar lang opereren. De subsidie is bedoeld voor bedrijven en onderzoeksinstituten of universiteiten met een vestiging in Duitsland. De projecten moeten buiten de EU of de EFTA plaatsvinden.

verlagende productie centraal. Hierbij speelt de ontwikkeling van stacks (de celstapels waarin de elektrolyse gebeurt) een grote rol. De mogelijkheden van elektrolyse op hoge- en op lage temperatuur (het laatste via polymer-elektromembraancellen (PEM)) worden nader onderzocht.

- Kennisinstellingen (KIT, Jülich, Fraunhofer Institut) adresseren duurzame waterstoftechnologieën in alle segmenten van de waardeketen. Voorbeelden van technologieën zijn elektrolyse, bio-gebaseerde waterstofproductie, methanpyrolyse (turkoois waterstof), kunstmatige fotosynthese en brandstofcellen. Verder adresseert het ministerie voor educatie en onderzoek de volgende onderzoeksthema's en technologieën:
  - H<sub>2</sub> Giga: PEM (PowerMem), AEL, HTEL;
  - FemtoPEM: efficiënte transportlagen voor de elektrolyse;
  - AEM (anion exchange membrane) elektrolyse;
  - H<sub>2</sub>Demo: waterstof uit zonenergie;
  - Power to X in het algemeen.

## Huidige toepassingen en potentieel

### Hernieuwbare energie

- In 2021 was 19,45% van de energie productie in Duitsland hernieuwbaar [9]. Aangezien deze hernieuwbare energie een grote factor in alle verduurzamingsplannen speelt, zal import van hernieuwbare energie uit andere landen nodig zijn.

### Consumptie

- In 2020 bedroeg de Duitse waterstof productie voor materiële toepassingen 55 TWh. Alleen 7% daarvan worden via chlor-alkali elektrolyse geproduceerd [3].

### Potentiële sectoren en vraag

- De Duitse waterstofstrategie kijkt naar toepassingen in de industrie, luchtvaart en zwaar transport (ter land en ter zee). Hierbij valt veel potentieel te halen uit de Duitse industrie [3].
- Volgens de Duitse waterstof strategie is er alleen al 80 TWh duurzame waterstof nodig om de Duitse

## Arbeidsmarkt

### Situatie

- De vier grootste sectoren in de Duitse industrie zijn: automotive, mechanical engineering, de chemische en de elektrische industrie. Veel technisch personeel zal dan ook uit deze sectoren beschikbaar zijn.
- In 2021 kende de Duitse chemische industrie ongeveer 2.100 bedrijven in 40 verschillende chemische clusters met 466.500 medewerkers [2]. Het grootste chemische bedrijf ter wereld, BASF heeft ongeveer 118,000 medewerkers. De mechanische-ingenieurs industrie domineert met 1,1 miljoen medewerkers.

### Knelpunten

- In structureel zwakke regio's lag het BBP de afgelopen tien jaar rond de 80% van het nationale gemiddelde. In deze regio's is het moeilijker om arbeidsplekken te creëren [8].
- Ook Duitsland heeft te maken met een tekort aan technici: tot 2035 kan meer dan 40% van de vraag

staalindustrie te verduurzamen. Verder zijn er 22 TWh groene waterstof nodig om de Duitse raffinaderij- en ammoniakproductie te verduurzamen. Tot 2030 verwacht de regering een waterstof vraag van 90 tot 110 TWh [3].

naar monteurs, installateurs, ingenieurs niet bezet worden [8].

### Oplossingen

- In haar nationale waterstofstrategie noemt de regering het belang van de bevordering van (beroeps)onderwijs. Met de ondersteuning van professionele en wetenschappelijke opleidingen willen ze zich vooral op het productie-, operatie-, en onderhoudspersoneel richten, zodat zij veilig en efficiënt op het gebied van waterstoftechnologieën kunnen werken. Er ligt veel nadruk op onderzoek en coöperaties met onderzoeksinstituten in exportlanden.
- Door de ontwikkeling en industrialisering van nieuwe productieprocessen voor groene waterstofproductie wordt verwacht dat nieuwe banen gecreëerd zullen worden (Fraunhofer 2019). De realisatie van Duitse waterstof doelen zal met gemiddeld 6.000 meer fte's een positief effect op het arbeidsaanbod hebben [1]. De creatie van nieuwe banen wordt hoger ingeschat dan het verdwijnen van banen [1].
- Positieve effecten slaan neer in de machine bouw sector, negatieve effecten zullen in de glas, keramik en bouw materiaal sector plaatsvinden. Andere positieve effecten worden voor scheepvaart, onderwijs, onderzoek, gezondheid, administratieve en rechtelijke banen verwacht [1].

## Bronnen

1. Bundesinstitut für Berufsbildung. (2023). Erste Abschätzung möglicher Arbeitsmarkteffekte durch die Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie bis 2030. Bundesinstitut für Berufsbildung, Bonn
2. Bundesministerium für Wirtschaft und Klima. (2021). Chemie und Pharmazie. <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Branchenfokus/Industrie/branchenfokus-chemie-pharmazie.html#:~:text=In%20Deutschland%20gibt%20es%20ca,mit%20weniger%20als%20500%20Besch%C3%A4ftigten>
3. Bundesregierung (2020). Die nationale Wasserstoffstrategie. Bundesregierung, Berlin.
4. Bundesregierung (2023). Bundesregierung beschließt Wasserstoffstrategie. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/wasserstoffstrategie-kabinett-1758824>
5. Bundesministerium für Bildung und Forschung. (2023). Welche Grundlagen-Forschungsprojekte zum Thema Wasserstoff-Produktion forschen. [https://www.wasserstoff-leitprojekte.de/grundlagenforschung/h2\\_produktion](https://www.wasserstoff-leitprojekte.de/grundlagenforschung/h2_produktion)
6. Deutsche Industrie- und Handelskammer. (2023). Wasserstoff-Förderprogramme im Überblick. <https://www.dihk.de/de/themen-und-positionen/wirtschaftspolitik/energie/wasserstoff/h2-foerderprogramme-67860>



## Bronnen

7. Federal Ministry of Education and Research. (2023). How the hydrogen flagship projects are supporting Germany's entry into the hydrogen economy.  
<https://www.wasserstoff-leitprojekte.de/projects>
8. PWC. (2022). Ohne Fachkräfte keine Energiewende - wie Kooperationen Abhilfe schaffen können.  
<https://blogs.pwc.de/de/auf-ein-watt/article/231791/ohne-fachkraefte-keine-energiewende-wie-kooperationen-abhilfe-schaffen-koennen/>
9. Our world in data (2021). How much of our primary energy comes from renewables?  
<https://ourworldindata.org/renewable-energy>



# Factsheet: België

## Doelen en ambities

### Nationale waterstofstrategie

- Op 29 oktober 2021 heeft de Belgische federale regering haar eerste waterstofstrategie goedgekeurd. In deze strategie werd voor het eerst de ambities van België aangekondigd op het gebied van waterstof en de rol die België in Europa wil spelen. De waterstofstrategie is gebaseerd op vier pijlers [3]:
  1. België zet zich in als draaischijf voor de invoer en doorvoer van waterstof in West-Europa. Er wordt ingezet op een invoer van 20 TWh in 2030 en tussen 200 en 350 TWh in 2050 om te voorzien in binnenlandse vraag en doorvoeractiviteiten naar de buurlanden. Naar verwachting zal de helft beschikbaar zijn voor doorvoer.
  2. Het Belgische leiderschap in waterstoftechnologieën versterken door haar beschikbare instrumenten aan te passen en nieuwe instrumenten te ontwikkelen.
  3. Een robuuste waterstofmarkt in het leven roepen. Hierbij wordt ingezet op het creëren van vraag, marktspelers met elkaar verbinden, vervoer te koppelen aan Duitsland, Frankrijk en Nederland en optimale planning van de infrastructuur.
  4. Investeren in samenwerking voor een succesvolle uitvoering (Belgische Waterstofraad).
- De Europese Unie zet zich in om 6 GW elektrolyse te produceren tegen 2024 en 40 GW tegen 2030. Ondanks deze ambities geeft België aan dat de elektrolysecapaciteit beperkt zal blijven. De reden hiervoor is het beperkte lokale potentieel voor hernieuwbare energie [3]. In het Nationale Herstel- en Veerkrachtplan heeft België zich tot doel gesteld om tot 2026 ten minste 150 MW elektrolysecapaciteit in bedrijf te hebben [2].

## Beleidsinstrumenten

### Nationale subsidies

- In de federale waterstofstrategie worden drie federale instrumenten genoemd die een bijdrage leveren aan waterstoftechnologieën [3].
- Het eerste instrument is het Energietransitiefonds. Dit fonds richt zich op onderzoek en ontwikkeling op het gebied van productie, vervoer en de opslag van waterstof en waterstofderivaten. Jaarlijks worden een projectoproep uitgeschreven en worden verschillende voorstellen gesubsidieerd met een totaalbedrag van € 20 tot 30 miljoen per jaar [3].
- Als tweede is er de projectoproep Clean Hydrogen for clean industry. Deze richt zich op de technologieën voor de productie en het gebruik van waterstof en waterstofderivaten die zich in de praktische ontwikkelingsfase bevinden. Er wordt ingezet op een snellere opschaling van commerciële toepassingen. In 2022 was er een totaal subsidie-budget van € 50 miljoen. In 2023 is de totale beschikbare steun € 10 miljoen. Het is onduidelijk waarom het bedrag van 2023 lager is dan 2022 [3].
- De Oproep voor de invoer van waterstof is het derde instrument en richt zich op de ontwikkeling en demonstratie van technologieën die de invoer van waterstof en de injectie ervan in een netwerk voor

## Ontwikkelingen

### Nationale initiatieven

- WaterstofNet wordt gezien als het samenwerkings- en kennisplatform omtrent waterstof. Ze informeren overheden over de mogelijkheden van waterstof en duiden op samenwerkingsmogelijkheden. Verder richten ze zich op tankstations, voertuigen en industrieel ecosysteem vanuit het Waterstof Industrie Cluster [8].
- Er is een initiatief van WaterstofNet en ClusterTweed om een Belgische Waterstofraad op te richten, waarmee ze krachten willen bundelen om Belgische bedrijven in het buitenland te positioneren en verschillende regeringen in België te adviseren [3].
- Zeven grote industriële spelers en publieke stakeholders (Deme, Engie, Exmar, Fluxys, Port of Antwerp, Port of Zeebrugge en WaterstofNet) hebben een samenwerkingsakkoord getekend voor het transport van waterstof. Ze brengen financiële, technische en regelgevende aspecten in kaart van de verschillende onderdelen in de logistieke keten. Dit leidt tot een roadmap die aangeeft wat de beste manier is om waterstof te vervoeren voor de verschillende toepassingen [6].
- De federale regeling steunt de uitbouw van VKHyLab, een testinfrastructuur en -locatie die





waterstoftransport mogelijk maken. In 2023 is het totaalbudget € 10 miljoen [3].

#### Andere instrumenten

- Tevens worden innoverende activiteiten ondersteund door aanpassing van belastingen, accijnzen of toepassingen. Elektrolyseactiviteit is vrijgesteld van accijnzen op elektriciteit [3].

onderzoekinstellingen en bedrijven helpt om waterstoftechnologie op te schalen. De overheid investeert € 1,5 miljoen in de aankoop van het terrein en subsidieert het Von Karman Instituut voor stromingsdynamica met € 14,7 miljoen. Naar verwachting is deze testfaciliteit in 2025 operationeel [3].

#### (Internationale) samenwerking

- De bevoegdheden voor waterstof zijn in België verdeeld over het federale en het gewestelijke niveau. Via de overleggroep ENOVER/CONCERE wordt gestreefd naar een samenwerking [3].
- Verder zet de federale overheid in op samenwerking met Europese partners en instellingen, zoals de North Sea Energy Cooperation, Pentilateral Energy Forum, Benelux en bilaterale overleggen met bijvoorbeeld Duitsland. Ook wordt er samengewerkt met Oman en Namibië om een scheepvaartroute op te zetten [3].

## Huidige toepassingen en potentieel

### Hernieuwbare energie

- Het aandeel hernieuwbare energie in het eindverbruik bedroeg 12,4% in 2021. Hiermee is de minimumeis van 13% uit de EU-richtlijn voor de bevordering van het gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen niet gehaald. Om dit tekort aan te vullen werden hoeveelheden energie uit hernieuwbare energiebronnen aangekocht bij andere lidstaten. Hierdoor kwam het totaal uit op 13,01% [4].

### Consumptie

- In totaal was er in 2021 een finaal energieconsumptie van 40,7 Mtoe. De grootste energiebron was aardolieproducten (18,7), gevolgd door aardgas (11,2), elektriciteit (7,0), hernieuwbare energie en afval (2,6), vaste fossiele brandstoffen (0,8) en warmte (0,5). Een deel van deze energiebronnen kan op den duur vervangen worden door waterstof. Hierbij is het van belang om te kijken naar welke sectoren waterstof zullen gaan gebruiken en wat de consumptie per sector is. De volgende tabel geeft de consumptie per sector in 2021 weer. Dit geeft de potentie van waterstof per sector weer [5].

Sector	Mtoe	TJ
Industrie	10,6	443.116
Transport	8,5	357.191
Huishoudelijk	8,6	359.626

## Arbeidsmarkt

### Knelpunten

- De toepassing en uitrol van waterstoftechnologie vraagt om competenties op de arbeidsmarkt. Dit is nodig over de hele waterstofwaardeketen van productie, transport, conversie en opslag tot de toepassingen in de industrie, transport en gebouwde omgeving. Het veiligheidsaspect in omgang met waterstof wordt gezien als een belangrijk gegeven [1, 7].
- Op Vlaams niveau heeft het departement Werk & Sociale Economie (WSE) een roadmap opgesteld voor de Vlaamse klimaattransitie, met een focus op energie-intensieve industrie. Hieruit blijkt dat in de periode tot 2030 er een evolutie van de arbeidsmarkt plaatsvindt waarbij de situatie met een structureel overaanbod verandert in een structureel arbeidstekort [1].
- Uit de roadmap blijkt dat de klimaattransitie uitdagingen met zich meebrengt omtrent aanwerving en upskilling van werknemers (op het gebied van groene en digitale thema's) en soft skills. Er is specifieke kennis en vaardigheden nodig rondom groene waterstof. Vaardigheden hierbij zijn het toepassen van de techniek, de integratie van technologieën en duurzaam energiemangement en monitoring. Voor hernieuwbare energie zijn er vooral banen nodig van managers, wetenschappers en ingenieurs, technici, operatoren en elektriciens en elektronici [1].



Diensten en gelijkgesteld	5,5	229.316
Niet-energetisch verbruik	7,5	315.315
<b>Totaal</b>	<b>40,7</b>	<b>1.704.564</b>

### Potentiële sectoren en vraag

- België zet vooral in het kader van waterstof vooral in op de in- en doorvoer van waterstof en in mindere mate op de productie. De Belgische overheid wil waterstof gaan inzetten in vier sectoren, waarbij de focus in eerste instantie ligt bij de eerste twee [3]:
- Industrie: De kernsectoren van de Belgische industrie zijn de farmaceutische industrie, chemische industrie, voedings- en drankenindustrie en de metallurgie en de vervaardiging van producten van metaal. De federale overheid wil waterstof inzetten als grondstof in verschillende chemische processen (bijv. Productie methanol, aromaten, ammoniak of alkenen) en recycling van kunststoffen.
- Transport: vooral bij lucht-, binnen- en scheepvaart. Eventueel bij vervoer van goederen over de weg. Bepaalde rol bij treinen en auto's.
- Elektriciteitssector: inzet van waterstof vanwege de grote behoefte aan flexibiliteit en het overbruggen van langere periode met weinig zon en wind.
- Gebouwen: eventueel voor verwarmingsdoeleinden. Deze sector wordt echter niet gezien als een prioriteit voor de toepassing van waterstof.
- De Belgische federale overheid verwacht dat de totale binnenlandse vraag naar waterstof in 2050 tussen de 125 en 200 TWh/jaar bedraagt (inclusief bunkerbrandstoffen) [3].

### Oplossingen

- Op Vlaams niveau is er een strategische roadmap opgezet die zich richt op de knelpunten. De roadmap bestaat uit vijf initiatieven [1]:
  - STEM-Unie:
    - in kaart brengen van het ecosysteem;
    - lanceren operationele regisseur;
    - opzetten centraal kennisplatform;
    - animeren van centraal kennisplatform;
    - structureren van samenwerking met het bedrijfsleven.
  - Doelgroepenprogramma:
    - structurering van het programma (workshopgebaseerd);
    - lanceren van rolmodellen;
    - persoonlijke AI-gestuurde interactie;
  - waardepropositietraject;
    - validatie van pijnpunten;
    - scherp stellen van de waardepropositie;
    - opzetten gecoördineerde acties.
  - Gemeenschappelijke sectorbranding campagne:
    - tastbaar maken van positieve maatschappelijke impact;
    - innovatie in het daglicht stellen;
    - breed multi-kanaal communicatieplan.
  - Cross-sectoraal opleidingsplatform:
    - opzetten van samenwerkingsverband;
    - bepalen van rollen & verantwoordelijkheden;
    - aanbod stroomlijnen;
    - doelgroep mobiliseren;
    - opleidingen aanbieden;
    - competenties erkennen.
- De Vlaamse Dienst voor Arbeidsbemiddeling en Beroepsopleiding (CDAB) is het agentschap van het beleidsdomein Werk en Sociale Economie. Zij zijn een samenwerking met industriële partners aangegaan. Samen gaan ze kijken waar nodig bijkomende opleidingen georganiseerd of gefaciliteerd kunnen worden [7].
- Voor zover bekend is er geen federaal of Waalse roadmap gericht op de arbeidsmarkt van waterstof.

### Bronnen

1. Departement Werk & Sociale Economie (2021). Skills roadmap voor de Vlaamse klimaattransitie met focus op de energie-intensieve industrie. Departement WSE, Brussel.
2. Federale regeling (2021). Nationaal plan voor herstel en veerkracht. Federale regering, Brussel.
3. Federale regering (2022). "Visie en strategie waterstof: update oktober 2022. Federale regering, Brussel.

## Bronnen

4. FOD Economie (2023a). Hernieuwbare energie: België bereikt doelstelling in 2021.  
<https://news.economie.fgov.be/223262-hernieuwbare-energie-belgie-bereikt-doelstelling-in-2021#:~:text=Het%20aandeel%20hernieuwbare%20energie%20in,energie%20uit%20hernieuwbare%20bronnen%20oplegt>
5. FOD Economie (2023b). Energy Key Data editie februari 2023. FOD Economie, Brussel.
6. Port of Antwerp Bruges (onbekend). Primeur in België: zeven toonaangevende spelers tekenen samenwerkingsakkoord voor transport van waterstof.  
<https://newsroom.portofantwerpbruges.com/primeur-in-belgie-zeven-toonaangevende-spelers-tekenen-samenwerkingsakkoord-voor-transport-van-waterstof#:~:text=Waterstof%20heeft%20een%20belangrijke%20rol,Zeebrugge%20en%20WaterstofNet%20de%20krachten>.
7. Vlaamse regering (2020). Vlaamse waterstofvisie “Europese koploper via duurzame innovatie”. Vlaamse regering, Brussel.  
<https://www.ewi-vlaanderen.be/sites/default/files/downloads/bestanden/5fad5387b328e9000c00018b.pdf>
8. WaterstofNet (2022). België krijgt onderzoekscentrum voor waterstofinnovatie.  
<https://www.waterstofnet.eu/nl/nieuws/belgie-krijgt-onderzoekscentrum-voor-waterstofinnovatie>



# Factsheet: Frankrijk

## Doelen en ambities

### Nationale waterstofstrategie

- Frankrijk was een van de eerste landen met een waterstofplan (2018). Vervolgens heeft Frankrijk op 8 september 2020 haar nationale waterstofstrategie gepresenteerd. In de nationale strategie staan drie doelen genoemd [1]:
  - de industrie koolstofvrij maken door een Franse elektrolyse-industrie te ontwikkelen. Het doel is om tegen 2030 6,5 GW aan elektrolyzers te installeren;
  - het ontwikkelen van zwaar transport met waterstof;
  - onderzoek, innovatie en de ontwikkeling van vaardigheden ondersteunen om het gebruik van waterstof in de toepassingen in de toekomst mogelijk te maken. Er wordt ingezet op de opleiding van arbeidskrachten bij:
    - waterstof in energienetwerken waarbij waterstof wordt gebruikt om het gebruik van hernieuwbare energiebronnen te vergemakkelijken door de stabiliteit van energienetwerken te verbeteren;
    - nieuwe toepassingen in de industrie;
    - zware mobiliteit: met name lucht- en scheepvaart;
    - waterstofinfrastructuur.
- In de nationale waterstofstrategie wordt tevens gesproken over de waterstofstrategie van de Europese Commissie. Frankrijk geeft aan dat ze bij het plan van de Europese Commissie betrokken zijn en verwachten te kunnen profiteren van de Europese financiële instrumenten. Frankrijk zet actief in op het leveren van een bijdrage aan de Europese alliantie voor schone waterstof zodat de nationale strategie aansluit bij de werkzaamheden op Europees niveau [1].
- Frankrijk staat momenteel wereldwijd in de top drie van waterstof, in termen van octrooien, R&D en fabrikanten van apparatuur. Frankrijk wil de emissies van de industrie de komende tien jaar met de helft verminderen en wil in 2050 koolstofneutraal zijn. Verder wordt in de waterstofstrategie voor de industrie beschreven dat het land de ambitie heeft om ten minste vier gigafabrieken van elektrolyzers en alle benodigde technologieën voor het gebruik van waterstof te hebben [4].

### Investeringsplan 2030

- Daarnaast is in 2022 het Franse investeringsplan 2030 gepresenteerd. Hierin wordt ook aandacht besteed aan de ontwikkeling van waterstof:
  - tegen 2030 leider worden op het gebied van groene waterstof en hernieuwbare energie [3];
  - decarbonisatie van de industrie om tussen 2015 en 2030 35% van de broeikasgasemissies in deze sector te verminderen;
  - tegen 2030 bijna 2 miljoen elektrische en hybride voertuigen produceren;
  - tegen 2030 het eerste vliegtuig met een lage CO<sub>2</sub>-uitstoot produceren.

## Beleidsinstrumenten

### Nationale waterstofstrategie

- Tot 2030 is er vanuit de nationale waterstofstrategie een budget van in totaal € 7 miljard beschikbaar. Frankrijk heeft ervoor gekozen om niet alles van tevoren vast te leggen. Wel hebben ze een strategie voor de periode 2020-2023 vastgesteld. Het budget voor deze periode is € 3,4 miljard beschikbaar. Hiervoor is 54% voor de eerste doelstelling, 27% voor de tweede doelstelling en 19% voor de derde doelstelling.

## Ontwikkelingen

### Nationale investeringsprogramma's

- De Franse overheid heeft afgelopen jaren via verschillende programma's, samenwerkingsverbanden en organisaties steun verleend aan de waterstofsector.
- Overheidsinstanties hebben verschillende fondsen ingezet om bedrijven en onderzoek te stimuleren bij de ontwikkeling van waterstof [1].
- Het 'Programma d'Investissements d'Avenir' (PIA) is een investeringsprogramma gericht op de toekomst. Vanuit dit programma zijn bedrijven met een hoog potentieel ondersteund. Hiervoor is meer dan € 100 miljoen ingezet [1].



### Nationale subsidies

- Van de € 7 miljard is, dankzij het Plan de Relance van 2020-2022, al € 2 miljard geïnvesteerd in waterstof.
- Daarnaast zijn er vier verschillende instrumenten beschikbaar die zich richten op de waterstof-ontwikkeling. Het budget van deze instrument is aanvullend op het budget dat beschikbaar is gemaakt vanuit de nationale waterstofstrategie [5].
- Als eerste heeft de Franse regeling een budget van € 1,5 miljard voor de financiering van industriële innovatieprojecten van Europees belang (IPCEI). In Frankrijk selecteert de regering de IPCEI-projecten. De kandidaten zijn onder andere de reservoirs van Faurecia, de vloeibaarmakers van groene waterstof van Engie en Arianegroup en de productie van brandstofcellen van meer dan 1 MW van HDF Energy [5].
- Er worden twee project calls opgezet door ADEME (Agency for Ecological Transition) voor industriële projecten die prioritair zijn en snel gelanceerd kunnen worden. Een project call richt zich op bouwstenen en demo's en heeft tot 2023 een budget van € 350 miljoen. De ander heeft een budget van € 275 miljoen en richt zich op projecten voor regionale waterstofhubs.

### Andere instrumenten

- Verder heeft het Direction générale énergie climat (DGEC) twee instrumenten. Een instrument is bedoeld voor raffinaderijen. Door elektrolyzers te gebruiken voor de productie van waterstof kunnen ze profiteren van een vrijstelling van de accijns op biobrandstoffen [5].
- Een tweede instrument richt zich op een steun per kilo biomethaan (te verkrijgen na een aanbesteding voor koolstofarme waterstof op industrieterreinen of die bestemd is voor mobiliteit) [5].

### Nationale initiatieven

- Het Nationaal Onderzoeksbureau (ANR) heeft afgelopen tien jaar meer dan € 110 miljoen geïnvesteerd in openbaar onderzoek [1].
- Bpifrance ondersteunt start-ups en kleine of middelgrote bedrijven bij hun innovatie- en technologische ontwikkelingsprojecten op het gebied van waterstof [1].
- ADEME heeft € 80 miljoen bijgedragen aan de uitrol van waterstofmobiliteit [1].
- De Bank of the Territories heeft gemeenschapsgerichte implementatieprojecten ondersteund [1].

## Huidige toepassingen en potentieel

### Hernieuwbare energie

- In 2019 kwam 17,2% van het bruto eindenergieverbruik uit hernieuwbare energie. In 2020 was dit gestegen tot 19,1%. Hiermee is de minimumeis van 13% uit de EU-richtlijn voor de bevordering van het gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen gehaald.
- Frankrijk heeft als doel om de op fossiele brandstoffen gebaseerde productieprocessen te vervangen met koolstofvrije waterstof [1].

## Arbeidsmarkt

### Knelpunten

- Er wordt aangegeven dat de waterstofsector gekwalificeerde mensen nodig heeft op het gebied van ingenieurs, technici en operators [2].
- De grootste uitdaging is om mensen op te leiden op het gebied van de specifieke kenmerken van waterstofgas, de componenten en de procedures [1].
- Daarnaast is het van belang dat de waterstoftechnologieën voldoen aan de vereiste normen en regelgeving in Frankrijk en internationaal, zodat de ontwikkelingen gewaarborgd blijven [2].



## Consumptie

- De Franse industrie is momenteel de grootste verbruiker van waterstof, met een jaarlijks verbruik van 900.000 ton. Waterstof wordt vooral gebruikt in de petroleum- en chemische industrie [2].

## Potentiële sectoren en vraag

- Frankrijk zet vooral in om waterstof in te zetten bij de industrie- en mobiliteitssector [1].
- Bij de industriële sector zal waterstof gebruikt worden als vervanging van steenkool en aardgas bij industriële processen. Enkele voorbeelden zijn [1]:
  - staalindustrie: productie van koolstof arm staal;
  - chemische industrie: productie van koolstof-vrije meststoffen of nylon;
  - raffinage: ontwavelen van brandstoffen;
  - productie van synthetische brandstoffen.
- Ook zal waterstof een grote rol gaan spelen in de transportsector. Waterstof wordt gezien als een geschikte oplossing voor zware voertuigen [1]:
  - extra opslagcapaciteit t.o.v. elektrische batterijen;
  - verminderen van emissies bij zware voertuigen, zoals lichte bedrijfsvoertuigen, zware vrachtwagens, bussen, huishoudelijke vuilniscontainers, regionale of interregionale treinen in niet-geëlektrificeerde gebieden;
  - luchtvaart: direct gebruik voor waterstof-aandrijving en voor de productie van synthetische brandstoffen (SAF).

## Oplossingen

- Om dit te bereiken richt Frankrijk zich op het ondersteunen van deze ontwikkeling in het vakgebied in het onderwijs. Dit doen ze door bijvoorbeeld in te zetten op [1, 2]
  - onderwijskundige engineering;
  - ontwikkeling van nieuwe leerplannen in beroepsscholen en/of hoger onderwijs om jongeren bewust te maken van deze nieuwe banen;
  - trainingen bij specifieke bedrijven.
- Frankrijk heeft een Plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique waarin ze ook aandacht besteden aan de arbeidsmarkt. Frankrijk wil zich gaan inzetten om een breed scala aan mensen op te leiden die samen in de waterstof-sector zullen werken. De training richt zich vooral op technici, managers (die werken aan kwaliteit, veiligheid en milieu), brandweerlieden, ingenieurs en onderzoekers [2].
- Waterstof wordt opgenomen in initiële en voortgezette opleidingen voor de energietransitie. Verder zullen professionals uit verschillende vakgebieden (zoals brandweerlieden, architecten, inspecteurs van geïnclassificeerde installaties, monteurs, stedenbouwkundigen, verwarmingsinstallateurs) worden opgeleid in de waterstoftechnologieën [2].

## Nationale programma's

- Frankrijk heeft een aantal programma's opgezet die zich richten op onderwijs en opleiding in relatie tot waterstof. Deze programma's worden uitgevoerd in samenwerking met onderwijsinstellingen, onderzoekscentra en industriële partners. De overheid speelt vooral een sleutelrol bij de coördinatie en financiering van deze initiatieven:
  - Programme prioritaire de recherche (ondersteunen onderzoek);
  - Programme Hydrogène et mobilité (professionals in de mobiliteitssector opleiden in waterstoftechnologieën);
  - Programme Hydrogène et énergies renouvelables (programma voor opleiding van werknemers op het gebied van de productie van waterstof uit hernieuwbare energiebronnen);
  - Programme Hydrogène et bâtiment (programma voor opleiding van vakmensen in de bouwsector op het gebied van waterstof-toepassingen, zoals verwarming en elektriciteitsproductie).

## Bronnen

1. Gouvernement (2020). "Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France". Gouvernement, Parijs.
2. Ministère de la transition écologique et solidaire (2020). Plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique. Ministère de la transition écologique et solidaire, Parijs
3. Ministère de l'économie des finances et de la souveraineté industrielle et numérique (2022). France 2030: un plan d'investissement pour la France. <https://www.economie.gouv.fr/france-2030>
4. Ministère de l'économie des finances et de la souveraineté industrielle et numérique (2023). Industrie: vers une nouvelle stratégie hydrogène pour la France.
5. France Funding Compass



## B Interviews

Naam	Affiliatie
Ad van Wijk	TU Delft
Björn Koopmans	Chemelot Circular Hub
Willem Hazenberg	Drenthe College
Yme Dikkerboom	STC Group
David Cinque	Air Liquide
Ellart de Wit	HyET
Hans Warmenhoven	EBN
Jan Geurts van Kessel	HAN
Jelte de Haan	GasUnie
Jeroen Tap	Dow
Marius Ponten	VDL
Michael de Pauw	Air Liquide
Remco de Ruiter	Shell
Rens Hamelink	Smart Delta Resources
Tjebbe Vroon	Stedin
Wilco van der Lans	Port of Rotterdam



# C Methodiek arbeidsvraag

## C.1 Inleiding

Om inzicht te bieden in spanningen op de arbeidsmarkt voor de energietransitie is door CE Delft een werkgelegenheidsmodel ontwikkeld dat de directe vraag naar arbeid in beeld brengt. Dit model bevat een module waarmee de vraag naar arbeid verder onderverdeeld kan worden naar arbeidskwalificatie (beroepen en opleidingsniveau). In deze bijlage wordt de methodiek van deze module verder toegelicht.

## C.2 kwalificatiemodule

De daadwerkelijk gependeerde arbeidsuren van verschillende beroepen in de energietransitie zijn onbekend. Er wordt daarom gebruik gemaakt van een CBS-dataset 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 13.

Tabel 13 - 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
<b>Beroep</b>	<b>X 1.000</b>	<b>X 1.000</b>	<b>X 1.000</b>	<b>X.1 000</b>
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
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 Timmerlieden	1	1	11	66
0733 Bouwarbeiders afbouw	1	0	5	34
0734 Loodgieters en pijpfitters	1	0	4	30

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
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 13 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 beroepsgroep<sup>24</sup>. Vervolgens wordt er voor elk beroep in elke fase per technologie gekeken wat het relatieve aandeel is in de totale hoeveelheid uren 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. De basis van het werkgelegenheidsmodel neemt aan 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 kan echter een vertekend beeld schetsen over de daadwerkelijk gewerkte uren in de relevante sectoren van de energietransitie. Om dit te corrigeren, zijn er interviews afgenomen met relevante experts voor 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. Op basis van deze gesprekken hebben er wijzigingen in de verhoudingen plaatsgevonden.

<sup>24</sup> 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.

## D Uitsplitsingen arbeidsaanbod

Tabel 14 - Voor de mbo-opleidingen zijn met name technische opleidingen geselecteerd

ISCEDF2013	Omschrijving
521	Milieu
531	Scheikunde
612	Ontwerp en beheer van database en netwerken
613	Softwareontwikkeling en systeemanalyse
710	Techniek en technische dienstverlening z.n.d.
711	Scheikundige technologie en procestechniek
713	Elektro- en energietechniek
714	Elektronica en industriële automatisering
715	Werktuigbouwkunde en metaalbewerking
716	Voertuigtechniek, scheepsbouw- en vliegtuigbouwkunde
719	Techniek en technische dienstverlening overig
731	Architectuur en stedenbouwkunde
732	Bouwkunde en civiele techniek
1041	Transport en logistiek

Tabel 15 - De selectie van relevante ho opleidingen is breder ingestoken

ISCEDF2013	Omschrijving	SOI2021	Omschrijving
521	Milieu	52101	Milieukunde
531	Scheikunde	53101	Scheikunde
531	Scheikunde	53102	Chemische laboratoriumtechniek
533	Natuurkunde	53301	Natuurkunde
533	Natuurkunde	53302	Sterrenkunde
533	Natuurkunde	53303	Materiaalkunde
541	Wiskunde	54101	Wiskunde
542	Statistiek	54201	Statistiek
612	Ontwerp en beheer van database en netwerken	61201	Netwerk- en systeembeheer
612	Ontwerp en beheer van database en netwerken	61203	Informatiebeveiliging
612	Ontwerp en beheer van database en netwerken	61204	Informatiemanagement
613	Softwareontwikkeling en systeemanalyse	61301	Informatietechnologie algemeen
613	Softwareontwikkeling en systeemanalyse	61304	Applicatiebouw en programmeren
613	Softwareontwikkeling en systeemanalyse	61305	Bedrijfsinformatica
619	Informatica overig	61901	Kunstmatige intelligentie, kennistechnologie
710	Techniek en technische dienstverlening z.n.d.	71000	Techniek/technische dienstverlening z.n.d.
711	Scheikundige technologie en procestechniek	71101	Laboratoriumtechniek algemeen
711	Scheikundige technologie en procestechniek	71102	Procestechniek
711	Scheikundige technologie en procestechniek	71104	Chemische technologie
711	Scheikundige technologie en procestechniek	71106	Petrochemie, polymeertechniek
712	Milieubescherming en milieutechnologie	71201	Milieutechnologie
712	Milieubescherming en milieutechnologie	71202	Milieumanagement
713	Elektro- en energietechniek	71301	Elektrotechniek algemeen
713	Elektro- en energietechniek	71302	Elektrische energietechniek
713	Elektro- en energietechniek	71303	Installatietechniek (elektro) algemeen
714	Elektronica en industriële automatisering	71401	Elektronica algemeen
714	Elektronica en industriële automatisering	71403	Industriële procesautomatisering

ISCEDF2013	Omschrijving	SOI2021	Omschrijving
714	Elektronica en industriële automatisering	71406	Computertechniek en computer engineering
715	Werktuigbouwkunde en metaalbewerking	71501	Werktuigbouwkunde algemeen
715	Werktuigbouwkunde en metaalbewerking	71503	Constructiewerken, machinebankwerken, lassen, smeden, gieten
715	Werktuigbouwkunde en metaalbewerking	71504	Fijnmechanische techniek, instrumentmaker
715	Werktuigbouwkunde en metaalbewerking	71505	Bedrijfswerktuigkundigen, machinisten e.d.
715	Werktuigbouwkunde en metaalbewerking	71507	Werktuigkundig tekenaars, constructeurs
716	Voertuigtechniek, scheepsbouw- en vliegtuigbouwkunde	71602	Auto-, motorfietstechniek
716	Voertuigtechniek, scheepsbouw- en vliegtuigbouwkunde	71605	Scheepsbouwkunde
716	Voertuigtechniek, scheepsbouw- en vliegtuigbouwkunde	71606	Vliegtuigbouwkunde
719	Techniek en technische dienstverlening overig	71901	Technische industriële vormgeving
731	Architectuur en stedenbouwkunde	73103	Bouwkundige architectuur, stedenbouw
731	Architectuur en stedenbouwkunde	73104	Landschapsarchitectuur
732	Bouwkunde en civiele techniek	73201	Weg- en waterbouw
732	Bouwkunde en civiele techniek	73202	Verkeerskunde
732	Bouwkunde en civiele techniek	73203	Bouw
732	Bouwkunde en civiele techniek	73208	Installatietechniek (bouwkunde)
732	Bouwkunde en civiele techniek	73209	Bouwmanagement, aanneming, werkvoorbereiding
1041	Transport en logistiek	104101	(Transport en) logistiek algemeen
1041	Transport en logistiek	104102	Wegvervoer
1041	Transport en logistiek	104104	Luchtvaart
1041	Transport en logistiek	104105	Scheepvaart
1041	Transport en logistiek	104106	Scheepswerktuigkunde

Tabel 16 - In welke sectoren zit het potentiële arbeidsaanbod?

	Standaard Bedrijfsindeling 2008 - update 2022
<b>B</b>	<b>Winning van delfstoffen</b>
6	Winning van aardolie en aardgas
8	Winning van delfstoffen (geen olie en gas)
9	Dienstverlening voor de winning van delfstoffen
<b>C</b>	<b>Industrie</b>
19	Vervaardiging van cokesovenproducten en aardolieverwerking
20	Vervaardiging van chemische producten
24	Vervaardiging van metalen in primaire vorm
26	Vervaardiging van computers en van elektronische en optische apparatuur
27	Vervaardiging van elektrische apparatuur
28	Vervaardiging van overige machines en apparaten
29	Vervaardiging van auto's, aanhangwagens en opleggers
30	Vervaardiging van overige transportmiddelen
33	Reparatie en installatie van machines en apparaten
<b>D</b>	<b>Productie en distributie van en handel in elektriciteit, aardgas, stoom en gekoelde lucht</b>
35	Productie en distributie van en handel in elektriciteit, aardgas, stoom en gekoelde lucht
<b>E</b>	<b>Winning en distributie van water; afval- en afvalwaterbeheer en sanering</b>
36	Winning en distributie van water
<b>F</b>	<b>Bouwnijverheid</b>

<b>Standaard Bedrijfsindeling 2008 - update 2022</b>	
41	Algemene burgerlijke en utiliteitsbouw en projectontwikkeling
42	Grond-, water- en wegenbouw (geen grondverzet)
43	Gespecialiseerde werkzaamheden in de bouw
<b>H</b>	<b>Vervoer en opslag</b>
49	Vervoer over land
50	Vervoer over water
51	Luchtvaart
52	Opslag en dienstverlening voor vervoer
<b>J</b>	<b>Informatie en communicatie</b>
62	Dienstverlenende activiteiten op het gebied van informatietechnologie
<b>M</b>	<b>Advisering, onderzoek en overige specialistische zakelijke dienstverlening</b>
71	Architecten, ingenieurs en technisch ontwerp en advies; keuring en controle