technopolis group



8 november 2024

Human Capital voor kernenergie

Een inventarisatiestudie over vraag en aanbod naar human capital voor de kernenergiesector en een roadmap met acties als input voor de HCA Kernenergie

8 november 2024

Human Capital voor kernenergie

Een inventarisatiestudie over vraag en aanbod naar human capital voor de kernenergiesector en een roadmap met acties als input voor de HCA Kernenergie

Chiel Scholten, Veerle Bastiaanssen, Carlijn Schumacher en Geert van der Veen

Inhoudsopgave

Lijst van gebruikte afkortingen 1

Managementsamenvatting 3

1 Introductie 10

1.1 Aanleiding en doel van de studie 10

1.2 Concepten en scope 11

1.2.1 De scope van deze studie 11

1.2.2 Belangrijke definities en concepten 11

1.3 De kernenergiesector in Nederland 13

1.3.1 Vraagkant naar human capital in de kernenergiesector 13

1.3.2 Aanbodkant van human capital in de kernenergiesector 15

1.4 Scenario's voor de toekomst 17

1.4.1 Scenario 1 17

1.4.2 Scenario 2 17

1.4.3 Scenario 3 18

1.5 Leeswijzer 18

2 Vraag naar human capital 19

2.1 Heden 19

2.1.1 Omvang van de huidige kernenergiesector 19

2.1.2 Huidige vraag 21

2.2 Ontwikkelingen 22

2.2.1 Nieuwe kerncentrales in het buitenland 22

2.2.2 Uitstroom van personeel en vergrijzing 23

2.2.3 Personeel korter op dezelfde plek 24

2.2.4 Nieuwe type reactoren / ontwikkeling SMR's 25

2.2.5 Ontmanteling en eindberging 25

2.3 Verwachtingen voor de toekomst 26

2.3.1 Kwantitatieve vraag naar personeel op basis van vergelijking met het buitenland 26

2.3.2 Kwantitatief en kwalitatieve vraag naar personeel uit de literatuur 29

2.3.3 Scenario 1 33

2.3.4 Scenario 2 35

2.3.5 Scenario 3 36

2.4 Onderwijsbehoefte 38

2.4.1 Onderwijsbehoefte nucleaire keten 38

2.4.2 Onderwijsbehoefte in de bouwfase 39

2.4.3 Onderwijsbehoefte in de operationele fase 39

3 Aanbod van human capital 41
3.1 Heden 41
3.1.1 Bestaande kennis en expertise aan onderwijsinstellingen 41
3.1.2 Relevante opleidingen 42
3.1.3 In- en uitstroom van relevante opleidingen 44
3.1.4 Concurrerende sectoren 46
3.1.5 Post-initiële en interne opleidingen 48
3.2 Ontwikkelingen 49
3.2.1 Ontwikkelingen van het onderwijs- en trainingsaanbod in Nederland 49
3.2.2 Drijfveren en barrières voor ontwikkeling aanbod 50
3.2.3 Ontwikkeling van het aanbod uit het buitenland 51
3.3 Verwachtingen voor de toekomst 52
3.3.1 Verwachtingen op basis van huidig aanbod en ontwikkelingen 52
3.3.2 Inspiratie uit het buitenland 52
4 Afstemmen vraag en aanbod 55
4.1 Inschattingen van de vraag naar human capital over tijd 55
1.1 Inschattingen van het aanbod van human capital over tijd 60
4.2 De match tussen vraag en aanbod 60
5 Conclusies 62
5.1 Flinke groei van de kernenergiesector en uitdagende vraag naar human capital 62
5.2 Vier knelpunten voor human capital in de kernenergiesector 63
5.2.1 Tekort aan technisch talent op de Nederlandse arbeidsmarkt 63
5.2.2 De omvang van de nucleaire kennisbasis in Nederland 64
5.2.3 Beperkt aanbod van onderwijs en trainingen voor de sector 64
5.2.4 Internationale concurrentie en concurrentie met andere sectoren 65
6 Aanbevelingen en roadmap voor de HCA Kernenergie 66
6.1 Procesaanbevelingen 66
6.2 Opdracht, doelen en actielijnen voor de HCA Kernenergie 67
6.3 Aanbevolen acties en roadmap 68
6.3.1 Actielijn 1: Het vergroten van technisch talent op de Nederlandse arbeidsmarkt 68
6.3.2 Actielijn 2: Het vergroten van nucleaire kennisbasis in Nederland 70
6.3.3 Actielijn 3: Het vergroten van het aanbod van onderwijs en training voor de kernenergiesector 72
6.3.4 Actielijn 4: Het versterken van de concurrentiepositie van de Nederlandse kernenergiesector op de (inter)nationale arbeidsmarkt 73
6.3.5 Roadmap 74
6.4 Afhankelijkheden/randvoorwaarden 78

Bijlage A Type functies en bijbehorend opleidingsniveau tijdens bouwfase en operationele fase o.b.v. JRC Taxonomy 79
A.1 Bouwfase 79
A.2 Operationele fase 81
Bijlage B Verantwoording 83
B.1 Onderzoeksvragen 83
B.2 Aanpak en methoden 84
B.2.1 Gebruik en interpretatie van data 84
B.3 Geraadpleegde organisaties 85

Lijst van gebruikte afkortingen

ACD	Algemeen Coördinerend Deskundige
AD	Associate Degree
ANVS	Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming
CD	Coördinerend Deskundige
CoE	Center of Excellence
COVRA	Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval
CSFN	Comité Stratégique de la filière nucléaire (Nucleaire Sector Strategische Commissie)
DIFFER	Dutch Institute for Fundamental Energy Research (onderzoeksinstituut)
EDF	Électricité de France (Franse nucleaire elektriciteitsmaatschappij)
EPZ	Elektriciteits Produktiemaatschappij Zuid-Nederland
EU	Europese Unie
FTE	Full Time Equivalent (1 FTE = 40 uur)
GEN	Generatie
hbo	Hoger beroepsonderwijs
HC	Human Capital
HCA	Human Capital Agenda
HFR	Hoge Flux Reactor
HR	Human Resources
HRD	Human Resource Development
HVAC	Heating, Ventilation & Air Conditioning
HZ	Hogeschool Zeeland
I&C	Instrumentation & Control
I&W	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
I2EN	International Institute of Nuclear Energy
IAEA	International Atomic Energy Agency
JRC	Joint Research Center
KC	Kerncentrale
KCB	Kerncentrale Borssele
KGG	Ministerie van Klimaat en Groene Groei
LLO	Leven Lang Ontwikkelen
LTO	Long Term Operation, bedrijfsduurverlenging
mbo	Middelbaar beroepsonderwijs
MMIP	Meerjarig Missiegedreven Innovatie Programma

MSR	Molten Salt Reactor
MWe	Megawatt elektrisch, eenheid voor elektrisch vermogen
NEA	Nuclear Energy Agency
NPE	Nationaal Plan Energiesysteem
NRG	Nuclear Research & consultancy Group
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development (NL: OESO)
PhD	Philosophiæ Doctor, gebruikt voor wetenschappelijke promotiestudies
R&D	Research & Development
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RUG	Rijksuniversiteit Groningen
SMART	Specific, Measurable, Attainable, Realistic, Timely
SMR	Small Modular Reactor
STEM	Science, Technology, Engineering and Mathematics
TMS	Toezichthoudend Medewerker Stralingsbescherming
TSO	Technical Support Organisation
TU	Technische Universiteit
TU/e	Technische Universiteit Eindhoven
TUD	Technische Universiteit Delft
VK	Verenigd Koninkrijk
vo	Voortgezet onderwijs
VRS-D	verspreidbare radioactieve stoffen niveau D
wo	Wetenschappelijk onderwijs

Managementsamenvatting

Technopolis heeft in opdracht van het Ministerie van KGG de vraag naar en het aanbod van human capital in de kernenergiesector onderzocht. Deze studie levert input voor de Human Capital Agenda (HCA) Kernenergie met conclusies, aanbevelingen en een eerste versie van een roadmap die samen met stakeholders uit onderwijs, overheid en de kernenergiesector verder uitgewerkt zal moeten worden als onderdeel van het Meerjarig Missiegedreven Innovatie-Programma (MMIP) Kernenergie.

In deze studie is gekeken naar de huidige en de toekomstige situatie van human capital op basis van beschikbare informatie uit deskstudie, data-uitvraag, interviews en werksessies. Voor de toekomstige situatie zijn er drie scenario's gehanteerd. De conclusies en aanbevelingen van deze studie zijn gebaseerd op het scenario dat het huidige beleid van Kabinet Schoof representeert: bedrijfsduurverlenging van de Kerncentrale Borssele en de bouw van vier nieuwe Generatie-III+-kerncentrales in Nederland[1].

Flinke groei van de kernenergiesector en uitdagende vraag naar human capital

Uit de studie blijkt dat de kernenergiesector in Nederland een flinke groei zal doormaken die een grote opgave op het gebied van human capital met zich meebrengt. Het is daarom belangrijk om nu verdere acties op het gebied van human capital te nemen. Het geschetste beeld volgt uit de kwalitatieve analyse van de bevindingen en uit grove kwantitatieve schattingen. In de huidige schattingen zitten onzekerheden die in de toekomst kunnen worden verfijnd, zodra er meer bekend is over de keuze van de technologieleverancier (*vendor*) voor de nieuw te bouwen kerncentrales.

De kernenergiesector in Nederland is anno 2024 een relatief kleine, goed georganiseerde sector. Bijna alle segmenten van de nucleaire keten zijn in Nederland aanwezig met organisaties die (internationaal) een vooraanstaande positie hebben. In de kernenergiesector zijn zo'n 1.900 FTE werkzaam. De meeste werknemers in de kernenergiesector zijn mbo- of hbo-geschoold (resp. 45% en 31%) en hebben een technische opleiding genoten (61%). Slechts 6% heeft een nucleaire opleiding gevolgd. Door vergrijzing zullen de komende 10-15 jaar zo'n 600 FTE de sector verlaten, waardoor er kennis en expertise uit de sector verdwijnt.

Na de bouw van vier nieuwe kerncentrales in Nederland (het hierboven geschetste scenario), verwachten we dat de Nederlandse kernenergiesector structureel meer dan verdubbeld zal zijn naar zo'n 4.000 FTE. De geschatte vraag naar human capital in die periode (na 2040) zal naar verwachting stabiliseren op zo'n 280 FTE per jaar: voor driekwart met een technische achtergrond; iets minder dan de helft mbo-opgeleid. Hierbij zal naar schatting zal zo'n 60 FTE per jaar daadwerkelijk nucleair opgeleid moeten zijn, terwijl voor de rest nuclearisering volstaat (een korte opleiding om bekend te raken met het nucleaire veld en de gehanteerde (veiligheid)werkwijzen daarbinnen). Dit human capital zal voor een groot deel uit Nederland moeten komen.

De grootste uitdaging ligt echter in de vraag naar human capital tijdens de bouw van de vier geplande nieuwe kerncentrales. In die periode (2025-2040 in het gehanteerde scenario) stijgt de geschatte vraag naar human capital naar gemiddeld 3.500 FTE per jaar. We schatten dat

[1] Hoewel in het regeerprogramma staat dat de mogelijkheden voor meerdere SMR's worden betrokken bij de stappen die gezet worden naar de realisatie van nieuwe kerncentrales, houdt dit scenario geen rekening met de eventuele realisatie van SMR's in Nederland. Met het programma SMR's verkent het kabinet de mogelijkheden om op termijn ook SMR's te realiseren in Nederland. Het kabinet werkt toe naar een nationale visie op SMR's medio 2025 in overleg met medeoverheden Dat kan aanleiding zijn om de roadmap voor human capital, waarvan in dit rapport een eerste versie wordt gepresenteerd, aan te passen.

daarvan zo'n 1.200 FTE per jaar uit Nederland zal moeten komen, de rest zal uit het buitenland moeten komen of zal met de *vendor* meekomen. Tijdens deze fase heeft driekwart van het benodigde human capital een technische achtergrond, is driekwart mbo-opgeleid en het gros (ca. 80%) nucleair-bewust (d.w.z. niet nucleair-opgeleid, maar wel bewust van de nucleaire omgeving waarin zij werken en de bijbehorende veiligheidsmaatregelen). Desalniettemin zal naar schatting in deze periode ook zo'n 80 FTE per jaar nucleair opgeleid moeten zijn. Deze grote vraag is tijdelijk (tot ongeveer 2040) en omvat een verscheidenheid aan expertises betrokken bij de bouw, constructie en installatie van vier nieuwe kerncentrales. Deze vraag zou in theorie tot 35% lager kunnen uitvallen als de bouw van vier kerncentrales efficiënt plaatsvindt, zodanig dat personeel van de bouw van de eerste twee kerncentrales direct door kan naar de bouw van de andere twee kerncentrales.

Vier knelpunten voor human capital in de kernenergiesector

Deze groei van de kernenergiesector zal uitdagingen met zich meebrengen. Wij zien vier knelpunten voor human capital in de kernenergiesector:

1. **Tekort aan technisch talent op de Nederlandse arbeidsmarkt**

   Zowel in de huidige als toekomstige kernenergiesector werken vooral technisch opgeleide mensen (ca. 75% heeft een technische achtergrond[2]). Tijdens de bouwfase is dat vooral nucleair-bewust personeel met een mbo-opleiding. Mbo-opgeleiden werken doorgaans in de regio waar zij zijn opgeleid, dus zij zullen naar verwachting vooral regionaal geworven moeten worden. Er is momenteel een aanhoudend tekort aan technisch opgeleid personeel op de arbeidsmarkt en er is sprake van sterke concurrentie op dit personeel met andere sectoren. Gezien de demografische ontwikkeling van Nederland (vergrijzing en minder kinderen), zal de instroom van technisch talent naar verwachting de komende jaren op alle niveaus afnemen. Buitenlands personeel en studenten zijn daarom hard nodig om aan de vraag naar technisch talent te voldoen.

2. **De omvang van de nucleaire kennisbasis in Nederland**

   De huidige nucleaire kennisbasis is van goede kwaliteit en past bij de omvang van de huidige kernenergiesector, maar is onvoldoende omvangrijk voor de ontwikkeling die de kernenergiesector in de onderzochte scenario's zal doormaken. Zij is geconcentreerd op een paar plekken, academisch vooral bij de TU Delft. Er zijn weinig kennisdragers en docenten op het gebied van kernenergie; met name bij het mbo en hbo is er op dit moment weinig tot geen inhoudelijke nucleaire kennis aanwezig. De onlangs opgerichte *Nuclear Academy*[3] helpt bij de opbouw van kennis bij deze onderwijsinstellingen. De bestaande kennisbasis neemt bovendien af door vergrijzing. Er zal daarnaast behoefte zijn aan nieuwe kennis, o.a. rondom nieuwe generatie kernreactoren, *Small Modular Reactors*, eindberging van radioactief afval en ontmanteling van oude kernreactoren. Het MMIP Kernenergie heeft om deze reden al middelen gereserveerd voor het instellen van onderwijs- en onderzoeksposities, vanuit de gedachte dat op alle opleidingsniveaus onderwijs en onderzoek tegenwoordig hand in hand gaan.

[2] Een opleiding in de domeinen techniek, natuurwetenschappen, bouw, constructie, infra of een nucleaire opleiding.

[3] De Nuclear Academy is een samenwerkingsverband tussen NRG en de TU Delft met als doel nucleaire kennis en vaardigheden binnen Nederland te versterken voor zowel het mbo- als hbo-onderwijs. In 2024 leverde de Nuclear Academy een belangrijke bijdrage aan de eerste onderwijsactiviteiten bij Scalda en Hogeschool Zeeland.

3. **Beperkt aanbod van onderwijs en trainingen voor de sector**

   Op dit moment is er in opleidingen en trainingen weinig aandacht voor de nucleaire sector en specifieke opleidingen ontbreken. Wel bestaat er een mastertrack en aantekening *Nuclear Science and Engineering* aan de TU Delft, is er recent een mbo-keuzedeel nucleaire technologie opgezet bij Scalda en is er een hbo-minor op het gebied van kernenergie in ontwikkeling bij de Hogeschool Zeeland. Er is op dit moment echter nog geen concrete vraag naar of vragende partij voor onderwijs. Daardoor is er voor het ontwikkelen van onderwijs op nucleair gebied vooralsnog onvoldoende sprake van een *business case* voor onderwijsinstellingen. Dat betekent dat de overheid moet instappen om onderwijsontwikkelingen te initiëren. Dat neemt echter niet weg dat onderwijsinstellingen in de breedte worden overvraagd door overheden en sectoren om oplossingen te bieden voor de huidige arbeidsmarktuitdagingen in allerlei sectoren en dat het opzetten van opleidingen niet eenvoudig is te realiseren.

4. **Internationale concurrentie en concurrentie met andere sectoren**

   Tijdens de realisatie van nieuwe kerncentrales is het waarschijnlijk dat zo'n 40% van het personeel uit het buitenland (Europa) moet worden gehaald, zo blijkt uit ervaringen bij de bouw van andere kerncentrales elders. Ook in diverse andere Europese landen zijn er ambities voor het bouwen van nieuwe kerncentrales, waardoor er mogelijk concurrentie om vergelijkbaar personeel zal ontstaan. Kansen in het buitenland zien we met name in landen waar onlangs nieuwe kerncentrales zijn gebouwd en in buurlanden die hun kernenergieprogramma (formeel) afbouwen. Naast internationale concurrentie, is er ook concurrentie met andere sectoren binnen Nederland op technisch personeel. Buitenlandse instroom van technisch opgeleiden kan een belangrijke bijdrage leveren aan het verlagen van deze concurrentie op de arbeidsmarkt. Bovenstaande maakt het belangrijk om de kernenergiesector in Nederland voldoende aantrekkelijk te laten zijn om nucleair en technisch opgeleid buitenlands personeel te kunnen werven.

Vier actielijnen om human capital knelpunten aan te pakken

Om deze knelpunten aan te pakken, moeten de overheid, de kernenergiesector en het onderwijs samen werken aan een gedragen langjarige Human Capital Agenda (HCA) onder het MMIP Kernenergie. Hiervoor is in dit rapport een eerste versie van een roadmap ontwikkeld. Het hoofddoel van de publiek-private HCA Kernenergie moet zijn: het beter in overeenstemming brengen van vraag en aanbod van human capital in de kernenergiesector ten behoeve van de bouw en operatie van nieuwe kerncentrales in Nederland in de periode 2025-2045. De HCA Kernenergie moet langjarig/structureel publieke én private middelen toegekend krijgen en moet periodiek geëvalueerd en bijgesteld worden. Om de HCA Kernenergie verder vorm te geven en uit te voeren, adviseren wij om zo snel mogelijk een werkgroep in te richten onder het missieteam Kernenergie.

Om invulling te geven aan de geschetste opgave en om de nucleaire kennisbasis verder te versterken middels de HCA Kernenergie, adviseren we een roadmap met vier actielijnen en de volgende acties:

- **Actielijn 1: Het vergroten van technisch talent op de Nederlandse arbeidsmarkt**
  - **Actie 1.1**: Zoek samenwerking met Platform Talent voor Technologie (PTvT) voor het ontwikkelen van effectieve acties om technisch talent voor de kernenergiesector op de Nederlandse arbeidsmarkt te bevorderen en duplicatie te voorkomen. Hiermee kan direct worden gestart.

- **Actie 1.2**: Stimuleer de instroom van technische opleidingen in Nederland door het geven van een extra (publieke en private financiële) impuls aan of het uitbreiden van bestaande initiatieven (bijv. Techniekpact). Zet in op het zichtbaar maken van kernenergie en nucleaire technologie bij deze initiatieven.
- **Actie 1.3**: Stel beurzen beschikbaar voor omscholing naar technische beroepen die relevant zijn voor de kernenergiesector op vooral mbo- en hbo-niveau. Dit moet leiden tot meer human capital (zijinstroom) met de juiste kwalificaties voor de kernenergiesector.
- **Actie 1.4/4.2**: Zet als sector een gezamenlijke wervingscampagne op om recent afgestudeerden, of mensen met een relevante technische achtergrond uit het buitenland, of uit andere sectoren, aan te trekken voor de Nederlandse kernenergiesector. Op korte termijn zou een campagne gelanceerd moeten worden, gericht op werving voor de bouwfase. Vanaf 2035 zou een nieuwe wervingscampagne zich moeten richten op de operationele fase en keten.

- **Actielijn 2: Het vergroten van nucleaire kennisbasis in Nederland**
  - **Actie 2.1**: Stel enkele hoogleraren/universitair docenten, lectoren en practoren aan op onderwerpen die relevant zijn voor de kernenergiesector (bijvoorbeeld kernenergie, nucleaire technologie/techniek, ioniserende straling, nucleaire veiligheid en regelgeving) om de nucleair-relevante kennisbasis in het onderwijs te vergroten. Hiervoor zijn binnen het MMIP Kernenergie al stappen gezet. Stel daarvoor eerst vast met welke posities en voor welke onderwerpen de kennisbasis het best versterkt kan worden. Zet in op focus en massa: verspreid investeringen niet te veel en versterk idealiter waar al enige kennis is.

    Deze kennisimpuls zou moeten landen bij enkele mbo- en hbo-instellingen in regio's waar zich grotere werkgevers in de kernenergiesector bevinden (Zeeland, Noord-Holland, Overijssel) of gaan bevinden (voorziene locaties nieuwe kerncentrales). In het wo is de regionale component minder belangrijk, maar adviseren we om investeringen te focussen. Het instellen van drie leerstoelen aan de TU Delft op het gebied van *nuclear energy technology*, *materials science for nuclear reactors* en *nuclear reactor physics* is hier al een mooi voorbeeld van.
  - **Actie 2.2**: Zet voor de korte termijn een centraal georganiseerd '*train-the-trainer*'-programma op via de *Nuclear Academy*, met een grote rol voor onderwijsinstellingen, om kennis vanuit de sector en kennisinstellingen te laten landen bij docenten in het initiële en post-initiële technische onderwijs.
  - **Actie 2.3**: Richt als sector voor de korte termijn een breed kennisplatform op om kennis te delen tussen kennisdragers uit sector en onderwijs, docenten en nieuwe professionals. Vergroot zo de kennisbasis bij professionals. Trek en deel lessen uit de ervaringen rondom PALLAS en kerncentrales in het buitenland.
  - **Actie 2.4:** Verken de haalbaarheid van het ontwikkelen van een *Associate Degree* (AD) opleiding *nuclear technology and operations* voor het nucleariseren van mensen met een technische vooropleiding (op mbo-niveau). Met een tweejarige AD-opleiding doen zij via een praktijkgerichte opleiding op hbo-niveau kennis en vaardigheden op om klaargestoomd te worden voor een baan in de kernenergiesector. Indien dit haalbaar is: bied (overheids)financiering om dit AD-programma snel te ontwikkelen en te laten starten (tijdens/begin van de bouwfase). Indien dit niet mogelijk is: zoek naar andere efficiënte mogelijkheden binnen het onderwijs voor het nucleariseren van mensen met een technische vooropleiding. De in te stellen lectoren en practoren in Actie 2.1 spelen een rol in de uitwerking van deze actie.

- **Actie 2.5**: Verken de haalbaarheid van de ontwikkeling van een volwaardige master op het gebied van *nuclear energy and engineering* voor het opleiden van nucleair specialisten in Nederland. Dit kan bijvoorbeeld een *joint master* zijn die aan verschillende instellingen wordt verzorgd of een gecombineerde hbo/wo-master. Sluit daarbij aan bij bestaande sterktes van universiteiten en het hbo. Indien dit mogelijk is: bied (overheids)financiering om deze master zo snel mogelijk te ontwikkelen en te laten starten (tijdens/begin van de bouwfase). Indien dit niet mogelijk is: bied financiering om een volwaardige *master track* binnen bestaande relevante masteropleidingen zo snel mogelijk te laten starten (tijdens/begin van de bouwfase). De in te stellen hoogleraren/universitair docenten en lectoren in Actie 2.1 spelen een rol in de uitwerking van deze actie.

- **Actielijn 3: Het vergroten van het aanbod van onderwijs en training voor de kernenergiesector**
  - **Actie 3.1**: Ontwikkel centraal/gezamenlijk (met ondersteuning van de *Nuclear Academy*) keuzeonderdelen op het gebied van nucleaire technologie, kernenergie, straling, kwaliteit en veiligheid in het technisch onderwijs op het mbo en hbo in regio's waar zich grote werkgevers in de kernenergiesector (zullen gaan) bevinden.
  - **Actie 3.2:** Ontwikkel voor het technisch onderwijs op het hbo en mbo lespakketten op het gebied van veilig werken, veiligheidscultuur, werken onder/met toezichthouders, het behalen van zeer hoge technische kwaliteitseisen en het managen van complexe langjarige technische projecten. Deze kennis is relevant voor veel technische sectoren en vormt een goede basis voor instroom in de kernenergiesector. De lespakketten kunnen vervolgens binnen het technische onderwijs geïntegreerd worden.
  - **Actie 3.3**: Zet in op omscholing door het ontwikkelen van een programma voor omscholing van krimpende technische sectoren (bijv. de fossiele energie-industrie of milieubelastende industrie) naar de kernenergiesector. Ga daarvoor na wat het potentieel is in deze sectoren en hoe dit potentieel naar de kernenergiesector kan worden bewogen. De omscholingsbeurzen in Actie 1.3 kunnen ook hiervoor aangewend worden.
  - **Actie 3.4**: Vergroot de capaciteit bij het post-initiële stralingsonderwijs, met name voor de deskundigenopleidingen stralingsbescherming. De huidige capaciteit is niet toegerust op groei. De uitdaging zit vooral bij het aantrekken van voldoende docenten en het creëren van voldoende leerplekken in de kernenergiesector.
  - **Actie 3.5**: Richt met de *vendor* bedrijfsopleidingen op voor de bouw van nieuwe kerncentrales ('*centers of excellence*') zoals in het VK. Hier worden mensen bijgeschoold om kennis op te doen voor het werken aan de bouw van nieuwe kerncentrales. Daarbij gaat het bijvoorbeeld om aanvullende kennis en vaardigheden om aan de strenge kwaliteits- en veiligheidseisen te voldoen, kennis op het gebied van constructie (bijv. lassen) en installaties voor kerncentrales en het versneld trainen van mensen voor specifieke werkzaamheden. Hieraan kunnen ook Nederlandse onderwijsinstellingen bijdragen.
  - **Actie 3.6**: Richt met de *operator* en *vendor* bedrijfsopleidingen op voor de operatie van nieuwe kerncentrales. Hier worden mensen getraind in o.a. de werking/bediening van de nieuwe kerncentrales (bijv. in een simulator van de *vendor*), de processen, veiligheidseisen, wet- en regelgeving die van toepassing zijn bij de operatie. Het eerste team voor de operatie van de nieuwe kerncentrales wordt via deze bedrijfsopleidingen door de *operator* en *vendor* opgeleid.

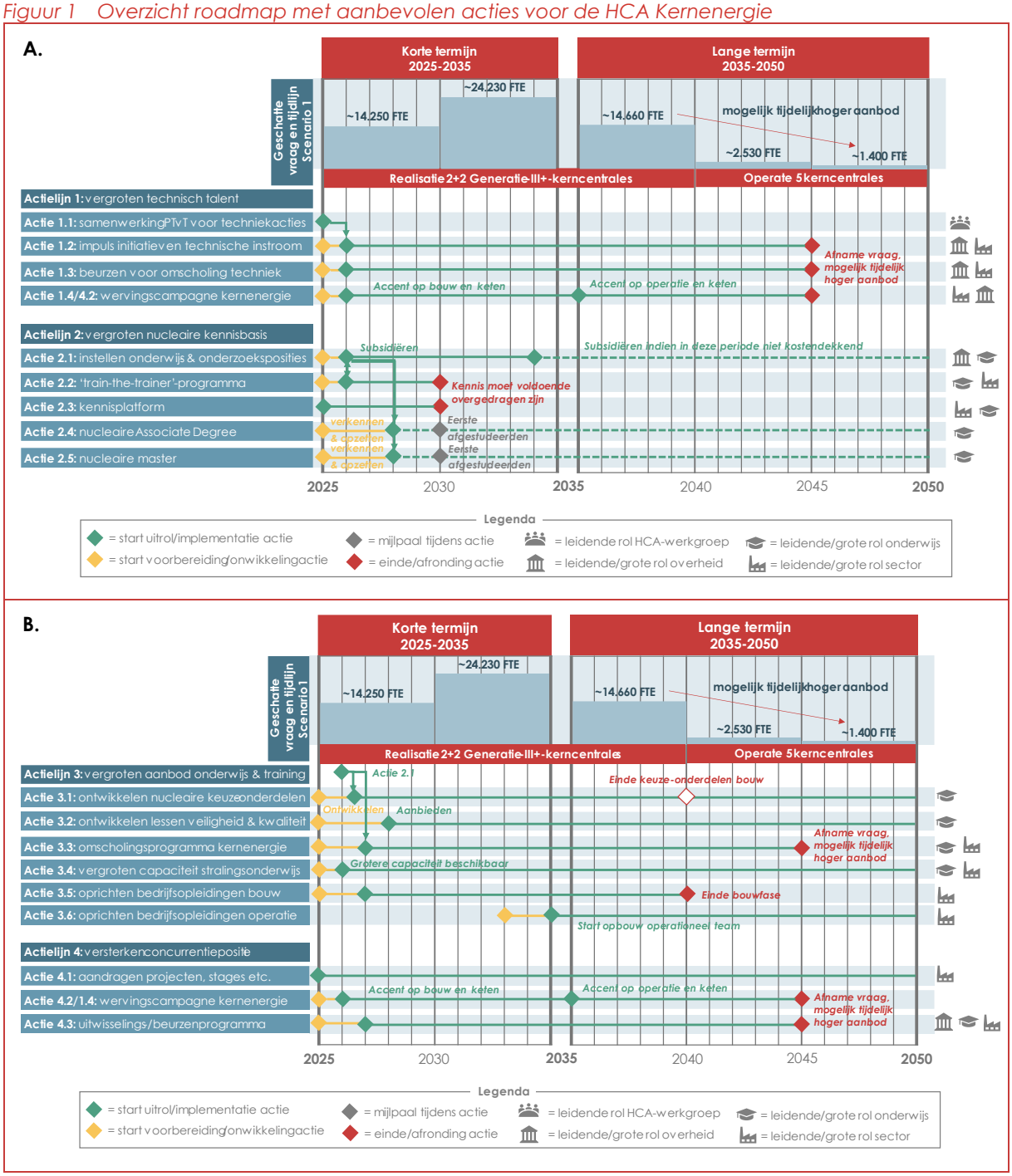
- **Actielijn 4: Het versterken van de concurrentiepositie van de Nederlandse kernenergiesector op de (inter)nationale arbeidsmarkt**
  - **Actie 4.1**: Draag als sector actief projecten, stages, casuïstiek, bezoeken en lezingen aan voor leerlingen (vo) en technische studenten (mbo, hbo, wo) zodat zij al tijdens hun opleiding in aanraking komen met de kernenergiesector. Hierdoor kan de concurrentiepositie van de nucleaire sector op de arbeidsmarkt verbeteren ten opzichte van grotere en meer bekende technische sectoren. Hierbij zou de *Nuclear Academy* mogelijk een ondersteunende rol kunnen spelen.
  - **Actie 4.2/1.4**: Lanceer als sector een wervingscampagne voor de Nederlandse kernenergiesector in binnen- en buitenland. Een deel van deze campagne zou gericht moeten zijn op studenten aan relevante binnen- en buitenlandse (technische) opleidingen (bijv. op het gebied van lassen, installatietechniek, nucleaire technologie, etc.). Landen met een negatief of onzeker nucleair perspectief, zoals Duitsland en België, en landen met een grote nucleaire sector, zoals Frankrijk, zien we als kansrijke landen om in te werven. Richt de wervingscampagne op baankansen, carrièreperspectief, interessante techniek en maatschappelijke relevantie.
  - **Actie 4.3:** Zet een uitwisselings- of beurzenprogramma op voor studenten aan buitenlandse opleidingen die zich richten op de kernenergiesector. Beurzen maken het mogelijk om Nederlandse studenten betaald aan buitenlandse opleidingen te laten studeren of om buitenlandse studenten naar Nederland te halen. Uitwisseling kan het aanbieden van stages in Nederland omvatten of het volgen van delen van het onderwijs in Nederland. Dit versterkt de concurrentiepositie van de Nederlandse kernenergiesector en vergroot de instroom van (nucleair) technisch talent.

Deze actielijnen en acties zijn gevisualiseerd in een roadmap in Figuur 1. Hierin zijn de vraag naar human capital en de acties gespecificeerd over de tijd. Daarnaast staat per actie aangegeven welke stakeholder naar ons idee een leidende rol zou moeten hebben bij acties. Deze planning en inschatting is afhankelijk van verschillende factoren, zoals de tijdlijnen en keuzes voor de bouw van kerncentrales in Nederland, de visie van Nederland met betrekking tot SMR 's, veranderingen in de schattingen van de vraag naar human capital zodra *vendor* en *operator* bekend zijn, afspraken over human capital met *vendor* en *operator*, en veranderingen in het aanbod door veranderingen in de economie.

Tijd voor actie!

Ondanks onzekerheden op het gebied van human capital voor de kernenergiesector die in deze studie zijn benoemd en door stakeholders zijn aangegeven, **adviseren wij om spoedig aan de slag te gaan met de HCA Kernenergie** gezien de grote uitdagingen waar de sector voor staat en de tijd die acties zullen vergen voordat zij hun vruchten afwerpen.

Figuur 1 Overzicht roadmap met aanbevolen acties voor de HCA Kernenergie



Technopolis (2024) NB: grotere versies van deze roadmap staan in Figuur 31 en Figuur 32 (vanaf pagina 76). NB: de cijfers in deze figuren geven de vraag naar arbeid weer, niet de omvang van de sector.

1 Introductie

1.1 Aanleiding en doel van de studie

Kernenergie staat weer expliciet op de politieke agenda sinds het regeerakkoord van het Kabinet Rutte IV in 2021. Het toenmalige kabinet wilde een grotere rol voor kernenergie in de energiemix door bedrijfsduurverlenging van de huidige kerncentrale in Borssele en de bouw van twee nieuwe kerncentrales[4]. Het hoofdlijnenakkoord voor het huidige Kabinet Schoof stelt dat niet alleen de kerncentrale in Borssele open blijft en de bouw van twee nieuwe kerncentrales wordt doorgezet, maar ook dat er nog twee extra kerncentrales zullen komen, waarbij de mogelijkheden voor meerdere kleinere kerncentrales (Small Modular Reactors, SMR's) worden betrokken.

Deze beslissingen hebben behoorlijke implicaties, omdat voor 2021 de nucleaire sector in Nederland al gedurende langere tijd aan het krimpen was. Het leek er immers lang op dat de Kerncentrale Borssele eind 2033 definitief zou sluiten en de bouw van de Pallas-reactor voor de productie van medische isotopen de enige vernieuwing in de sector zou zijn.[5] In 2019 publiceerde de ANVS nog een advies over 'veiligheid in een krimpende sector', waarbij de vraag centraal stond hoe voldoende kennis behouden kon worden terwijl nucleaire activiteiten in Europa steeds meer werden afgebouwd[6]. De TU Delft trok een paar jaar later aan de bel omdat de nucleaire kennisinfrastructuur aan het afbrokkelen was.[7] De huidige koerswijziging brengt daardoor uitdagingen met zich mee op het gebied van human capital en kennisbehoud.

In 2023 verscheen het Meerjarig Missiegedreven Innovatie Programma (MMIP) "Kernenergie in een CO_2-vrije energievoorziening in 2050" (MMIP Kernenergie). Dit MMIP beoogt om de nucleaire kennisinfrastructuur te waarborgen, versterken en toekomstbestendig te maken door te investeren in onderwijs, onderzoek en innovatie.

De afgelopen jaren zijn er onderzoeken gedaan naar de verwachte behoefte aan adequaat opgeleide mensen in de sector, waaronder door Berenschot (2022)[8] en Technopolis (2022)[9]. Deze inventarisatie bouwt voort op deze studies en zet, naast actualisatie, nog een stap: aan de vraagkant wordt nog specifieker bekeken welk type en welke aantallen medewerkers er nodig zijn voor de kernenergiesector, en aan de aanbodkant wordt meer expliciet en meer uitgebreid naar het onderwijs gekeken. Dit gebeurt aan de hand van drie scenario's. Het eerste scenario representeert het beleid van het Kabinet Rutte IV: hierin worden twee nieuwe kerncentrales gebouwd. Het tweede scenario representeert het beleid van Kabinet Schoof: hierin worden er geen twee maar vier kerncentrales gebouwd. In het derde scenario wordt er naast vier kerncentrales ook rekening gehouden met de bouw van enkele kleinere kerncentrales, de zogenaamde Small Modular Reactors (waarvan de mogelijkheden

---

[4] Zie: https://www.parlement.com/id/vloreou0m8t6/regeerakkoord_2021

[5] Zie: https://www.autoriteitnvs.nl/documenten/publicatie/2019/06/21/advies-van-rva-thema-kennis

[6] Zie: https://www.autoriteitnvs.nl/documenten/publicatie/2019/06/21/advies-van-rva-thema-kennis

[7] Eric Vrijsen en Jan Leen Kloosterman en Bert Wolterbeek (interview), De laatste nucleaire Mohikanen, Elsevier Weekblad, Jan (2022). Bron: https://janleenkloosterman.nl/reports/ew_2201.pdfhttps://janleenkloosterman.nl/reports/ew_2201.pdf

[8] Berenschot (2022). Analyse toekomstige vraag naar nucleaire kennis(werkers) in Nederland. Bron: https://www.berenschot.nl/media/dwznf311/rapport-analyse-toekomstige-vraag-naar-nucleaire-experts-in-nederland-002.pdf

[9] Technopolis (2022). De arbeidsmarkt in de Nederlandse nucleaire sector. Bron: https://www.nucleairnederland.nl/app/uploads/2023/04/technopolis-group-2022-de-arbeidsmarkt-in-de-nederlandse-nucleaire-sector-eindrapportage-kopie-1.pdf

momenteel door het Kabinet worden verkend). In alle scenario's wordt rekening gehouden met de voorgenomen bedrijfsduurverlenging van de Kerncentrale Borssele.

Voor deze studie zijn verschillende spelers in de kernenergiesector benaderd en betrokken. Op moment van schrijven is er nog geen partij die belast is met de voorbereiding, bouw en bedrijfsvoering van nieuwe kerncentrales, maar wordt dit in gang gezet. Daarom zijn er inschattingen gemaakt over de toekomstige behoefte aan human capital voor deze activiteiten op basis van deskstudie en inbreng van andere partijen.

1.2 Concepten en scope

1.2.1 De scope van deze studie

In deze studie richten we ons specifiek op de **kernenergiesector**. Daaronder verstaan we de organisaties die op het gebied van kernenergie of de nucleaire keten (de splijtstofcyclus) in Nederland het meest actief zijn. Dit zijn EPZ (leverancier van kernenergie), Urenco (leverancier van nucleaire brandstoffen), NRG (onderzoeks- en adviesorganisatie op het gebied van kernenergie), ANVS (toezichthouder op kernenergie-activiteiten), de ministeries van Klimaat en Groene Groei (KGG) (verantwoordelijk voor beleid en wetgeving met betrekking tot kernenergie binnen de context van het klimaat- en energiebeleid) en Infrastructuur en Waterstaat (I&W) (verantwoordelijk voor beleid en wetgeving met betrekking tot veiligheid en radioactief afval), TU Delft (verzorgt onderwijs en onderzoek op het gebied van kenenergie) en COVRA (beheert afval uit kernenergiecentrales). Daarnaast hebben we ook organisaties die al een rol spelen of mogelijk gaan spelen in de kernenergiesector (DIFFER, Thorizon, ULC-Energy en de RUG) betrokken en onderwijsinstellingen die mogelijk een rol zouden kunnen spelen in het aanbieden van onderwijs voor deze sector, op mbo-, hbo- en wo-niveau.

De scope van dit onderzoek wijkt daarmee enigszins af van dat in het onderzoek naar de nucleaire arbeidsmarkt van Technopolis uit 2022, omdat het huidige onderzoek zich uitsluitend richt op de kernenergiesector en niet op de gehele nucleaire sector. Onder de **gehele nucleaire sector** vallen ook organisaties in het medische nucleaire domein (zoals PALLAS[10] en SHINE). Die vallen nu buiten de scope van het huidige onderzoek.

1.2.2 Belangrijke definities en concepten

In deze paragraaf geven we enkele belangrijke definities en lichten we de concepten toe die in dit rapport centraal staan. Dat moet bijdragen aan een helder begrip van de inhoud van dit rapport.

Een **kerncentrale** is een installatie waarmee door versplijting van radioactief materiaal elektriciteit wordt geproduceerd. Kernreactoren die voor andere doeleinden worden gebruikt, bijvoorbeeld voor het maken van medische isotopen, zijn geen kerncentrales en vallen buiten de scope van dit onderzoek.

Generatie-III+-kerncentrales zijn moderne kerncentrales. Het zijn de *state-of-the-art* lichtwatergekoelde en gemodereerde kerncentrales die momenteel verkrijgbaar zijn en waarvan er wereldwijd al diverse operationeel zijn. Het vermogen van dit soort kerncentrales ligt met circa 1.000-1.600 MWe hoger dan bij de voorgaande generaties waar bijvoorbeeld ook de Kerncentrale Borssele toe behoort.

[10] PALLAS en NRG vormen inmiddels een personele unie en treden steeds meer naar buiten als NRG-PALLAS, omdat de PALLAS-activiteiten buiten de scope van de studie vallen en we voor NRG alleen de rol in de kernenergiesector beschouwen, spreken we voor de duidelijkheid in deze studie nog over NRG.

Bedrijfsduurverlenging duidt op het wettelijk toestaan dat de KCB ook na de eerder geplande einddatum van einde 2033 in bedrijf blijft. Het voornemen van de overheid is om de bedrijfsduur van de KCB te verlengen. Voor deze bedrijfsduurverlenging is een wijziging van de Kernenergiewet nodig.[11]

SMR's (Small Modular Reactors) is de verzamelnaam voor verschillende soorten kleinere kernreactoren die modulair en daarmee fabrieksmatig kunnen worden gebouwd. SMR's zijn in omvang en vermogen kleiner dan conventionele generatie-III+-kerncentrales. SMR's worden door het ministerie van KGG in *de programma-aanpak Small Modular Reactors*[12] genoemd als mogelijke aanvulling op de conventionele generatie-III+-kerncentrales op termijn, onder andere vanwege de verschillende toepassingsmogelijkheden. Er is een grote verscheidenheid SMR's in ontwikkeling, die in een aantal typen opgesplitst kunnen worden: watergekoeld, gasgekoeld, *fast-spectrum* reactoren, microreactoren en gesmolten zout reactoren.[13] Lichtwatergekoelde SMR's maken gebruik van bewezen technologie en zijn het verst in ontwikkeling; daarom gaan we in deze studie uit van deze variant. Er is nog veel onzeker rondom SMR's, omdat deze nog volop in ontwikkeling zijn en er in de westerse wereld nog geen SMR's zijn gerealiseerd.

Nucleaire piramide: in de kernenergiesector werken mensen met diverse achtergronden, waarvan slechts een klein deel een nucleaire opleiding heeft gevolgd. Om het verschil in achtergrond en opleiding weer te geven, heeft de OECD een classificatie gemaakt van het type werknemers[14], zoals gevisualiseerd in Figuur 2Figuur 2. Deze classificatie noemen we de nucleaire piramide.

In de nucleaire piramide maakt de OECD onderscheid tussen drie typen werknemers:

- **Nucleair personeel:** medewerkers met een formele opleiding op het gebied van nucleaire techniek of straling, bijvoorbeeld wetenschappelijke opleidingen radiochemie of reactorfysica. Het percentage van mensen met een dergelijke opleiding in de nucleaire sector ligt in Nederland tussen de 10%[15] en 20%[16] en in de EU rond de 16%[17]
- **Genuclearisеerd personeel:** medewerkers met een formele opleiding in een relevant, maar niet-nucleair vakgebied die vervolgens kennis verwerven van de nucleaire omgeving waarin ze werken. Dit gaat bijvoorbeeld om medewerkers met een technische opleiding die tijdens voor hun werk opleidingen in stralingsbescherming en/of nucleaire technologie hebben gevolgd. Dit gaat om ongeveer 60% van het personeel in NL en ongeveer 74% in de EU[18], door verschillen in de structuur van de nucleaire sector in Nederland en het EU-gemiddelde.
- **Nucleair-bewust personeel**: medewerkers die zich bewust zijn van het feit dat ze in een nucleaire omgeving werken en daarnaar handelen in de uitvoering van hun werk. Dit gaat o.a. om ondersteunend personeel dat te maken heeft met de kwaliteitseisen of

---

[11] Zie: https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/detail?id=2023D01149&did=2023D01149

[12] Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2024). Programma-aanpak Small Modular Reactors. Bron: https://open.overheid.nl/documenten/3d65a3bd-9bc8-4cc8-8c87-7a7592ff2d30/file

[13] OECD (2024) The NEA Small Modular Reactor Dashboard: Second Edition. Via: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_90816/the-nea-small-modular-reactor-dashboard-second-edition

[14] OECD NEA (2012). *Nuclear Education and Training: From Concern to Capability*.

[15] Berenschot (2022). Analyse toekomstige vraag naar nucleaire kennis(werkers) in Nederland.

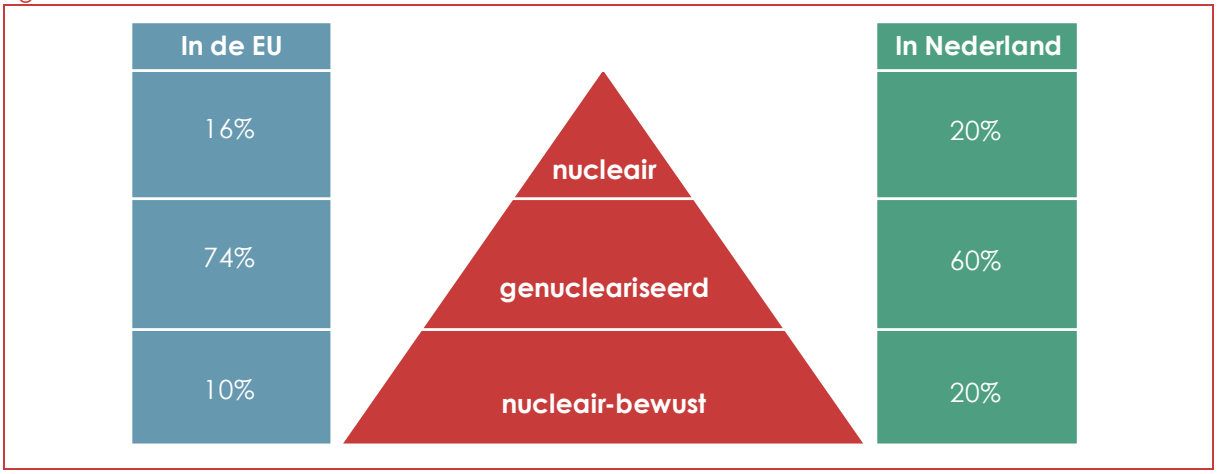
[16] Technopolis (2022). De arbeidsmarkt in de Nederlandse nucleaire sector.

[17] Technopolis (2022). De arbeidsmarkt in de Nederlandse nucleaire sector.

[18] Technopolis (2022). De arbeidsmarkt in de Nederlandse nucleaire sector.

veiligheidseisen die voortkomen uit het werken in een nucleaire organisatie. Dit is ongeveer 20% van de medewerkers in de nucleaire sector in Nederland en 10% in Europa.[19]

Figuur 2 Nucleaire Piramide



Technopolis (2022), op basis van OECD (2012)[20]

1.3 De kernenergiesector in Nederland

De kernenergiesector in Nederland is een kleine maar diverse sector, die meer omvat dan alleen de Kerncentrale Borssele. Om human capital in deze sector te beschouwen is het zinvol om onderscheid te maken tussen de vraagkant- en aanbodkant van de kernenergiesector.

1.3.1 Vraagkant naar human capital in de kernenergiesector

De vraagzijde van de kernenergiesector omvat organisaties die werkzaam zijn in de nucleaire keten in Nederland. De nucleaire keten omvat de activiteiten die nodig zijn om van een ruwe grondstof, zoals uraniumerts, tot een nuttige en veilige nucleaire toepassing te komen en om met resterend afval en reststromen om te gaan. Figuur 3 toont de nucleaire keten met de segmenten die in Nederland plaatsvinden. Hoewel het winnen van de ruwe grondstoffen in het buitenland gebeurt, zijn in alle overige segmenten van de keten in Nederland organisaties actief.

[19] Technopolis (2022). De arbeidsmarkt in de Nederlandse nucleaire sector.

[20] OECD NEA (2012). *Nuclear Education and Training: From Concern to Capability.*; JRC (2014). *Top down workforce demand from energy scenarios: Influence of Long Term Operation.*; Technopolis (2022). De arbeidsmarkt in de Nederlandse nucleaire sector.

Figuur 3 Nucleaire keten



Technopolis (2024), op basis van Technopolis (2022)[21]

De segmenten van de nucleaire keten in Nederland zijn:

- **Voorbewerken**: hierin worden de gewonnen grondstoffen bewerkt tot materialen die gebruikt kunnen worden voor nucleaire toepassingen. In Nederland betreft dat het verrijken van uranium voor de productie van brandstoffen voor in kerncentrales, hetgeen gebeurt bij Urenco in Almelo.
- **Omzetten**: dit betreft de inzet van het nucleaire materiaal om warmte en vervolgens elektriciteit te produceren. Op dit moment gebeurt dat in Nederland uitsluitend in de Kerncentrale Borssele. Alhoewel er voorbereidingen worden getroffen voor de bouw van nieuwe centrales, is nog niet duidelijk welke organisatie verantwoordelijk zal zijn voor de bouw en operatie daarvan.[22]
- **Opslaan**: hierin gaat het om de inzameling, verwerking en opslag van radioactieve restmaterialen of radioactief afval, en de uiteindelijke eindberging daarvan. De verantwoordelijke partij hiervoor in Nederland is de COVRA.
- **Veiligheid en vergunningen**: alle organisaties die met nucleaire en radioactieve stoffen werken, dienen in het bezit te zijn van een Kernenergiewetvergunning. Deze worden verleend door de ANVS, die ook toezicht houdt op de veiligheid.
- **Ontwikkeling/R&D-bedrijven:** dit segment houdt zich in principe bezig met de gehele nucleaire keten. Het gaat hier bijvoorbeeld om onderzoek op het gebied van stralingsbescherming of nucleaire technologie, of om bedrijven die werken aan de ontwikkeling van SMR's. In Nederland zijn verschillende onderzoeksorganisaties in dit segment actief, waaronder TU Delft, RUG en NRG. In de ontwikkeling/realisatie van SMR's zijn onder andere bedrijven als Thorizon en ULC-Energy actief.

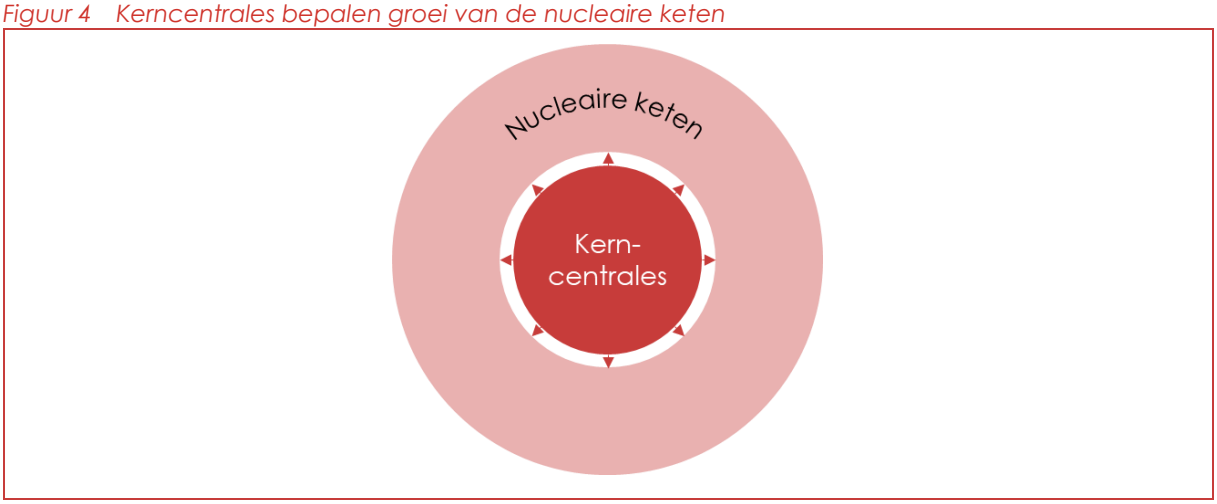
Door de ambities voor de bouw en operatie van nieuwe kerncentrales en de ontwikkeling van nieuwe nucleaire technologieën (zoals MSR's) in Nederland, zal de sector naar verwachting

[21] Technopolis (2022). De arbeidsmarkt in de Nederlandse nucleaire sector.

[22] Rijksoverheid (2023). Haalbaarheidsonderzoek bouw kerncentrales in januari van start. Bron: https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2023/12/13/haalbaarheidsonderzoek-bouw-kerncentrales-in-januari-van-start

aanzienlijk groeien. We zetten de kerncentrales (segment 'omzetten') centraal in deze studie, omdat zij bepalend zijn voor de groei van de gehele nucleaire keten. Hier ligt dan ook de grootste uitdaging wat betreft human capital. De vraag in andere segmenten en bij toeleveranciers, die niet direct onderdeel vormen van de hiervoor geschetste nucleaire keten, wordt ook beïnvloed door de toenemende activiteit rondom nieuwe kerncentrales.

Figuur 4 Kerncentrales bepalen groei van de nucleaire keten



Technopolis (2024)

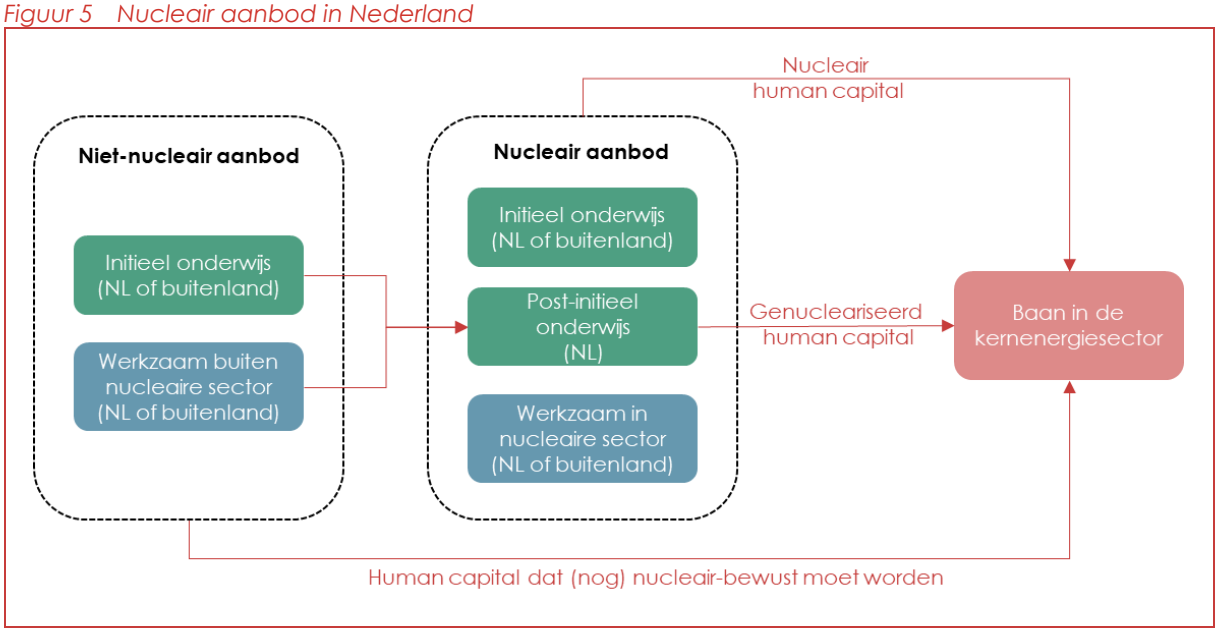
Het aantal spelers in de kernenergiesector zal waarschijnlijk veranderen doordat er mogelijk nieuwe organisaties gaan ontstaan met een rol in de voorbereiding, realisatie en operatie van nieuwe kerncentrales. Deze partijen zullen belangrijke vragende partijen worden op de arbeidsmarkt voor kernenergie. In dit verband spreken we in dit rapport van een **projectorganisatie** die verantwoordelijk wordt voor de realisatie van nieuwe kerncentrales en van de ***vendor***, die de kerncentrales zal gaan leveren. Daarnaast kan er ook nog sprake zijn van een separate uitbater van de kerncentrale, de ***operator***. Zij zullen de belangrijkste vragende partijen zijn voor human capital.

1.3.2 Aanbodkant van human capital in de kernenergiesector

Het aanbod van human capital voor de kernenergiesector komt niet alleen van organisaties die (op dit moment) onderdeel zijn van de kernenergiesector. Een deel van het human capital komt ook uit andere sectoren of wordt opgeleid bij onderwijsinstellingen die geen specifiek nucleair aanbod hebben.

Figuur 5 schetst een kader voor het aanbod van human capital voor de kernenergiesector. Daarin maken we onderscheid tussen niet-nucleair en nucleair aanbod. Het nucleaire aanbod betreft nucleaire opleidingen en organisaties in de nucleaire sector in binnen- en buitenland. Het niet-nucleaire aanbod bestaat uit binnenlandse en buitenlandse opleidingen en organisaties die geen nucleaire kennis hebben. Mensen die niet-nucleair opgeleid zijn, kunnen een post-initiële nucleaire opleiding hebben gevolgd en zijn dan – volgens de termen van de nucleaire piramide (Figuur 2) – genuclearisseerd. Het overige niet-nucleaire aanbod levert mensen die of nog genuclearisseerd moeten worden of nucleair bewust moeten worden gemaakt.

Figuur 5 Nucleair aanbod in Nederland



Technopolis (2024)

In deze studie kijken we vooral naar het aanbod van human capital uit opleidingen in Nederland. Dit aanbod is namelijk het beste te beïnvloeden en staat centraal in de human capital agenda kernenergie. Het gaat daarbij om initieel en post-initieel onderwijs. Initieel onderwijs is de eerste, oorspronkelijke onderwijsloopbaan van personen in het voltijdsonderwijs voordat zij de arbeidsmarkt betreden. Dit zijn opleidingen in het mbo, hbo en wo.[23] Onder post-initieel onderwijs vallen alle (deeltijd)opleidingen en cursussen die na het initiële onderwijs worden gevolgd – dit zijn activiteiten onder de noemer Leven Lang Ontwikkelen (LLO).[24]

De verschillende organisaties aan de aanbodkant die relevant zijn voor de kernenergiesector zijn:

- **Aanbieders van initieel onderwijs dat zich specifiek richt op de nucleaire sector:** In Nederland is er slecht één onderwijsinstelling die al specifiek onderwijs aanbiedt voor de nucleaire sector, namelijk de TU Delft met de masterspecialisatie *Nuclear Science and Engineering* binnen de masteropleidingen *Applied Physics*, *Chemical Engineering* en *Sustainable Energy Technology*.
- **Aanbieders van initieel onderwijs dat zich niet specifiek richt op de nucleaire sector:** Hoewel diverse opleidingen op mbo-, hbo- en wo-niveau relevant zijn voor de nucleaire sector, zijn er (buiten de hiervoor genoemde) momenteel geen andere opleidingen die specifiek gericht zijn op nucleaire kennis, terwijl er in de nucleaire sector wel veel vraag is naar mbo-, hbo- en wo-geschoold personeel. Niet-nucleair of genuclearisseerd personeel is veelal opgeleid in algemene technische vaardigheden, zoals technische natuurkunde, werktuigbouwkunde en procesoperator. Ook tijdens de bouwfase zijn er mensen nodig die niet specifiek nucleair opgeleid.
- **Aanbieders van post-initieel onderwijs:** omdat veel opleidingen zich niet richten op nucleaire kennis, terwijl enige kennis daarvan vaak wel vereist is voor werknemers die in de

[23] CBS (n.d.). Initieel onderwijs. Bron: https://www.cbs.nl/nl-nl/onze-diensten/methoden/begrippen/initieel-onderwijs

[24] CBS (n.d.). Postinitieel onderwijs. Bron: https://www.cbs.nl/nl-nl/onze-diensten/methoden/begrippen/postinitieel-onderwijs

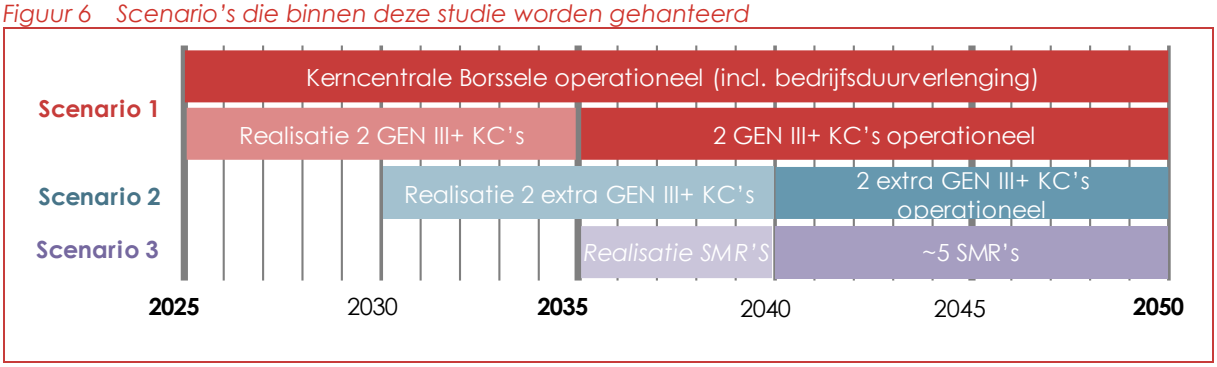
nucleaire sector (gaan) werken, wordt dit gat vaak opgevuld via interne/aanvullende trainingen en opleidingen door werkgevers of externe partijen.

- **Aanbod vanuit het buitenland of andere werkgevers:** een deel van het benodigde personeel komt van buitenlandse opleidingen of van andere werkgevers uit binnen- en buitenland. Vooral voor specifieke expertise waarvoor in Nederland geen opleidingen bestaan, of voor grote volumes personeel, kan het buitenlandse aanbod een uitkomst bieden.

1.4 Scenario's voor de toekomst

Om de toekomst met betrekking tot human capital in de kernenergiesector te verkennen, beschouwen we in deze studie drie scenario's die opgesteld zijn in samenwerking met het Ministerie van KGG. Deze scenario's zijn schematisch weergegeven in Figuur 6Figuur 6 en bouwen op elkaar voort: scenario 2 vult aan op scenario 1, scenario 3 op scenario's 1 en 2.

Figuur 6 Scenario's die binnen deze studie worden gehanteerd



Technopolis (2024) in samenwerking met opdrachtgever. In dit figuur staat KC voor kerncentrale.

Scenario's, beleid en keuzes verschillen: de toekomstscenario's die voor deze studie zijn opgesteld, zijn bedoeld om inschattingen te kunnen maken over de toekomst en daarover meer inzicht te bieden. Over de toekomst is nog veel onduidelijk. Zo is het beleid nog in ontwikkeling en moeten een aantal keuzes (o.a. over tijdlijnen) nog worden gemaakt. Deze scenario's zijn daarom nadrukkelijk geen directe weergave van het huidige beleid, noch van gewenste uitkomsten van beleid of besluitvorming. Met name de periodes voor de bedrijfsduurverlenging en de realisatie van de kerncentrales in de tijd zijn aannames in deze scenario's om de vraag naar human capital in kaart te kunnen brengen.

1.4.1 Scenario 1

Scenario 1 representeert het beleid onder Kabinet Rutte IV. Het betreft de bedrijfsduurverlening (*Long Term Operation*: LTO) van de Kerncentrale Borssele[25] in combinatie met de realisatie van twee nieuwe kerncentrales van generatie III+.

1.4.2 Scenario 2

Scenario 2 representeert het beleid on het Kabinet Schoof en bouwt voort op scenario 1, in de zin dat het inzet op de realisatie van nog twee extra kerncentrales. [25] In totaal zijn dit dus vier nieuwe generatie-III+-kerncentrales, die in dit scenario in twee fases gebouwd zullen worden.

[25] Momenteel wordt onderzocht hoe lang de bedrijfsduur van de KCB verlengd kan worden. Daaruit moet blijken tot welke datum er sprake kan zijn van bedrijfsduurverlenging.

1.4.3 Scenario 3

In scenario 3 wordt er naast de bedrijfsduurverlening van de KCB en de realisatie van vier nieuwe generatie-III+-kerncentrales ook uitgegaan van de realisatie van een aantal SMR's in Nederland (zie sectie 1.2.2)1.2.

Voor deze studie is, in overleg met de opdrachtgever, uitgegaan van vijf SMR's in dit scenario, omdat dit past binnen de maximale 7GW kernenergie zoals benoemd in het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE). Het geschetste tijdspad en het aantal SMR's in Nederland is echter nog niet bekend maakt onderdeel uit van de programmatische aanpak voor SMR's.

1.5 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd. In het volgende hoofdstuk (hoofdstuk 2) gaan we als eerste in op de vraag naar human capital in de kernenergiesector. We beschouwen daarbij zoals de huidige als de toekomstige vraag en de ervaren behoefte op het gebied van onderwijs. In hoofdstuk 3 gaan we in op het aanbod van *human capital* vanuit de onderwijskant en de ontwikkelingen die daarin plaatsvinden. In hoofdstuk 4 gaan we in op het afstemmen van vraag en aanbod door de vraag modelmatig verder te concretiseren. Vervolgens geven we in hoofdstuk 5 onze conclusies en in hoofdstuk 6 onze aanbevelingen voor de toekomst in de vorm van een roadmap voor human capital. In de bijlage staat nadere informatie, waaronder een methodologische verantwoording van de studie.

2 Vraag naar human capital

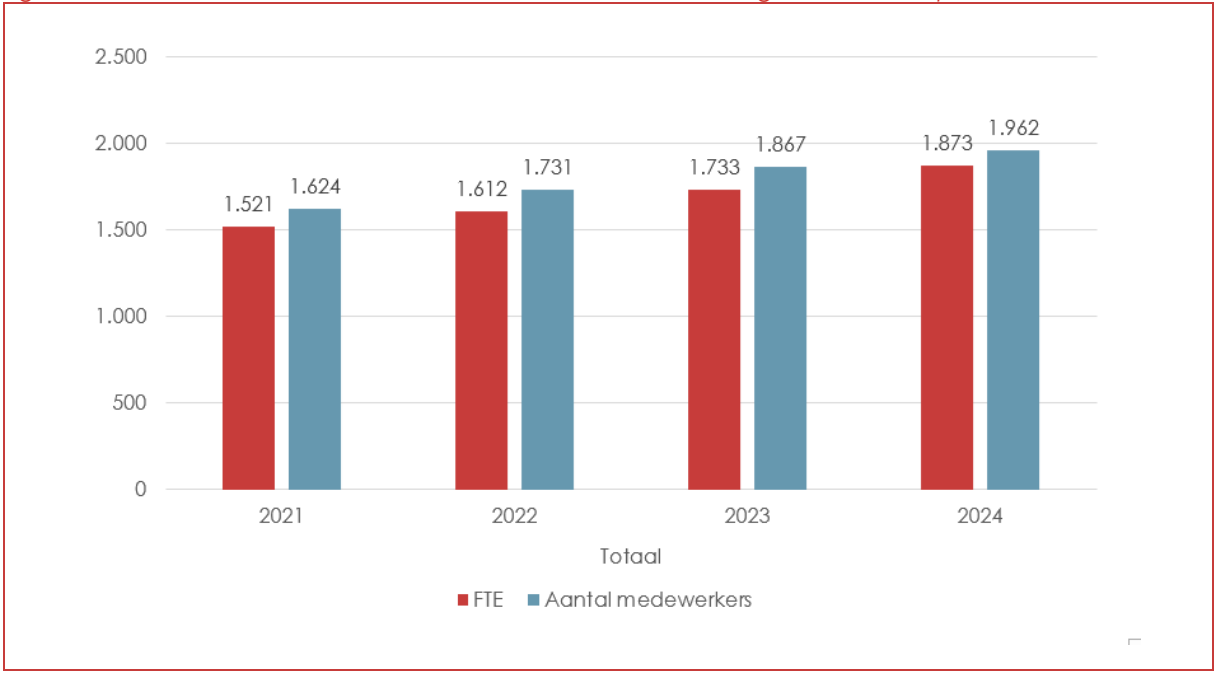
De vraag naar human capital is in kaart gebracht door enerzijds data op te vragen bij organisaties in de huidige kernenergiesector en anderzijds door deskstudie van informatie over de bouw en operatie van nieuwe kerncentrales. Dat laatste is nodig omdat die speler(s) nu nog niet bekend is (zijn) en niet geraadpleegd kon(den) worden. De data die we ontvangen hebben van organisaties in de huidige kernenergiesector waren niet altijd compleet[26] en betreffen soms de best mogelijke schattingen (zie Bijlage B).

2.1 Heden

2.1.1 Omvang van de huidige kernenergiesector

Op dit moment werken er in de kernenergiesector in Nederland zo'n 2.000 medewerkers, ofwel zo'n 1.900 FTE. Figuur 7 geeft de personele omvang van de kernenergiesector weer in aantal medewerkers en FTE's over de afgelopen vier jaar. Daarbij valt op dat het aantal medewerkers in de kernenergiesector de afgelopen jaren flink is gestegen. **Tussen 2021 en 2024 is het aantal FTE in de gehele kernenergiesector met 23% toegenomen.** Met name de publieke sector groeide sterk, aangezien zij vooruitlopend op de bouw van nieuwe kerncentrales al bezig zijn met onder andere de voorbereidingen daarop.

Figuur 7 Geschatte aantal medewerkers en FTE's in de kernenergiesector in de periode 2021 t/m 2024



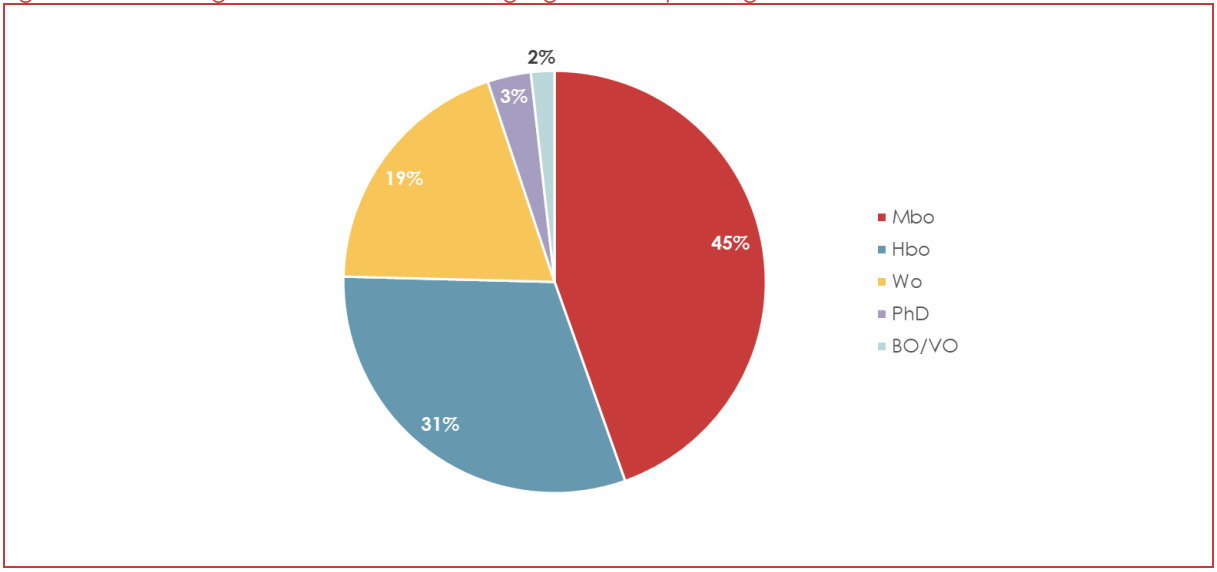
Technopolis (2024)

Het grootste deel van de medewerkers die op dit moment aan het werk zijn in de kernenergiesector hebben een mbo-opleiding gevolgd (45%). Dit wordt gevolgd door een hbo-opleiding (31%) en een wo-opleiding (19%). Figuur 8 geeft een overzicht van deze

[26] Waar informatie incomplete was hebben we deze of niet meegenomen, aangevuld op basis van informatie uit interviews of andere bronnen, aangenomen dat de cijfers voor de toekomst hetzelfde zullen zijn als de huidige cijfers.

verdeling. Daarbij geldt dat het aandeel mensen met een wo(+)-opleiding over het algemeen groter is bij kennis- en adviesorganisaties (zoals NRG) dan bij de meer operationele organisaties (zoals EPZ en COVRA).

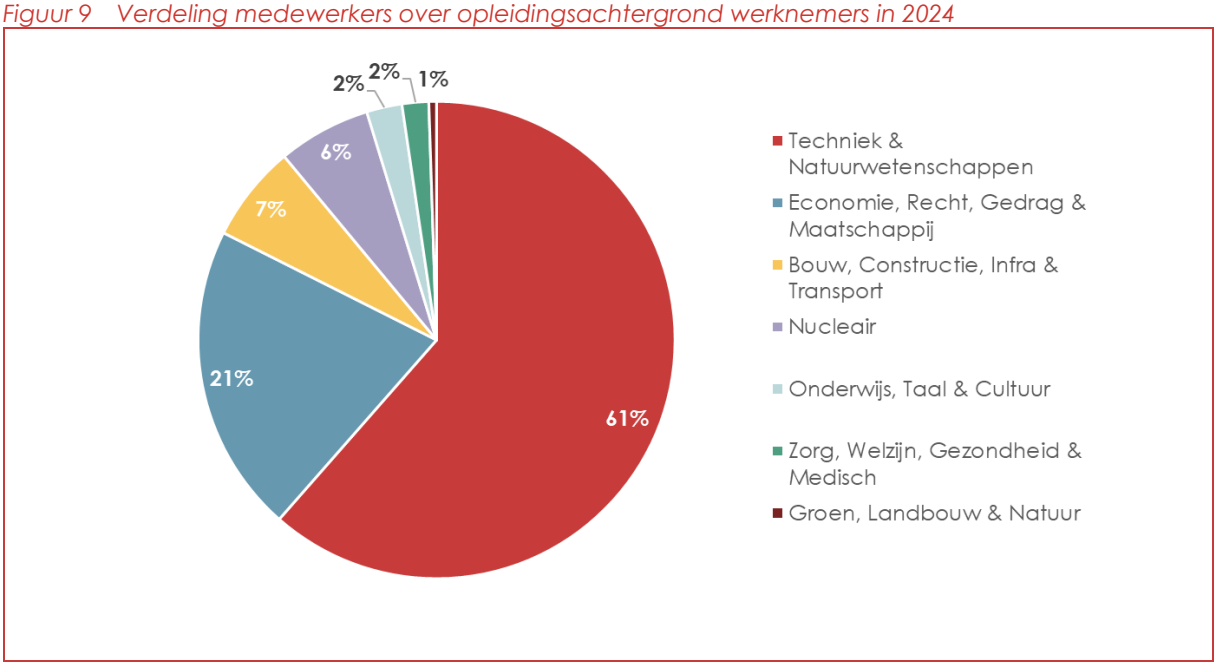
Figuur 8 Verdeling medewerkers over hoogst genoten opleiding in 2024



Technopolis (2024)

De meeste medewerkers (61%) in de kernenergiesector hebben een opleidingsachtergrond in techniek en natuurwetenschappen (zie Figuur 9). Een kleiner aandeel (21%) heeft een opleiding gevolgd op gebied van economie, recht, gedrag & maatschappij. Slechts 6% van de medewerkers die momenteel in de kernenergiesector werken, heeft een specifieke nucleaire opleiding gevolgd in het initieel onderwijs.

Figuur 9 Verdeling medewerkers over opleidingsachtergrond werknemers in 2024

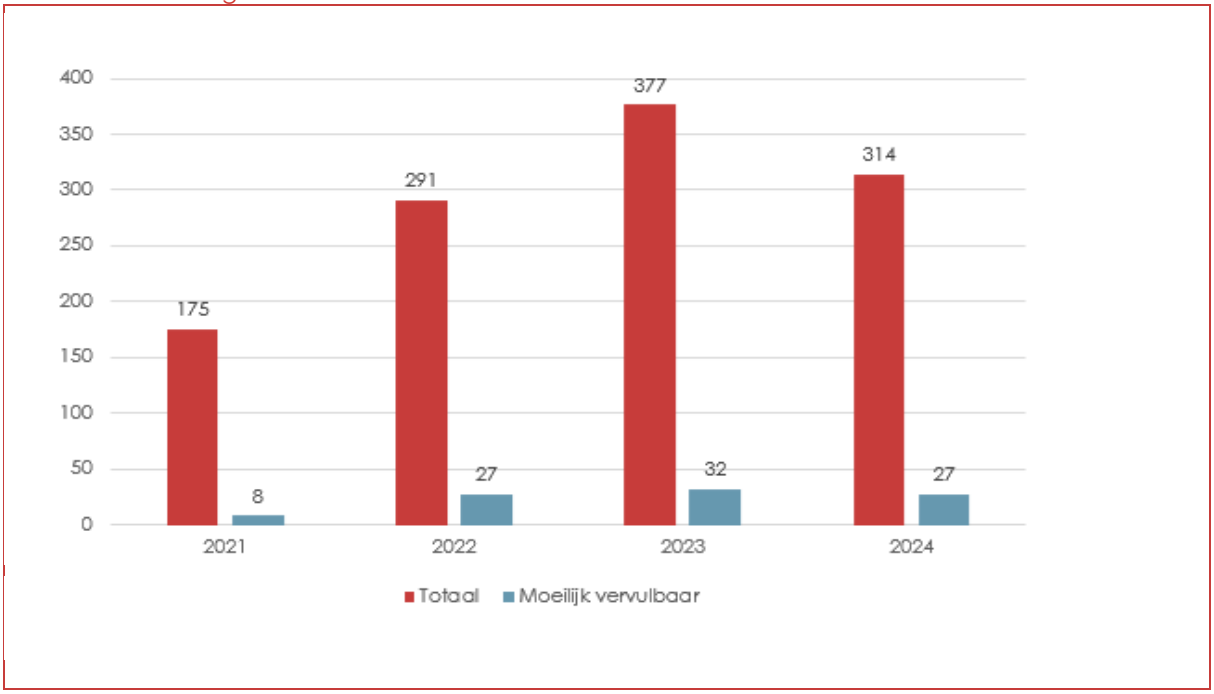


Technopolis (2024)

2.1.2 *Huidige vraag*

De sterke groei van de huidige kernenergiesector is weerspiegeld in het stijgende aantal vacatures in dezelfde periode. Figuur 10 geeft het totale aantal vacatures en het aantal moeilijk te vervullen vacatures weer. Moeilijk te vervullen wil zeggen dat de vacature meerdere keren moet worden geplaatst voordat een geschikte kandidaat wordt gevonden. Voor 2024 beslaan de cijfers alleen het eerste halfjaar, dus voor het gehele jaar ligt dit waarschijnlijk hoger.

Figuur 10 Aantal vacatures en aandeel moeilijk vervulbare vacatures in de periode 2021 t/m halverwege 2024



Technopolis (2024)

Van alle vacatures, was in de afgelopen vier jaar gemiddeld 6,5% moeilijk te vervullen. Dat is een afname ten opzichte van 2022 – toen was voor de gehele nucleaire sector (dus breder dan de kernenergiesector) gemiddeld 30% van alle vacatures moeilijk vervulbaar[27]. Het is nu, slechts zo'n 2 jaar later, dus gemakkelijker geworden om vacatures te vervullen. Dit is in lijn met de interviews. Men noemt daarbij als belangrijke reden dat de reputatie van kernenergie en het toekomstperspectief voor de sector sterk is verbeterd de afgelopen jaren[28]. Daarnaast hebben diverse organisaties ook strategischer ingezet op de werving van hun personeel en hun werving verbeterd. Zo hebben enkele organisaties arbeidsmarktstrategieën ontwikkeld, hun zichtbaarheid verbeterd en met recruiters gewerkt. Ook zijn sommige organisaties actiever gaan werven in het buitenland, waaronder in Vlaanderen.

[27] Technopolis (2022). De arbeidsmarkt in de Nederlandse nucleaire sector. Bron: https://www.ensuringnuclearperformance.com/media/2rihrej5/technopolis-group-2022-de-arbeidsmarkt-in-de-nederlandse-nucleaire-sector-eindrapportage-kopie.pdf

[28] Uit onderzoek van I&O Research blijkt dat in 2021 de helft van de Nederlands (51%) positief was over het opwekken van kernenergie in Nederland. Zie: I&O Research Amsterdam (2021). Draagvlak kernenergie. Bron: https://065.wpcdnnode.com/ioresearch.nl/wp-content/uploads/2021/11/ja21-kernenergie-rapport-def-v2.pdf

Er zijn bepaalde functies waarvan organisaties aangeven dat deze met name moeilijk te vervullen zijn:

- **Nucleair specialisten**: gezien de beperkte uitstroom van nucleaire opleidingen in Nederland zijn deze specialistische functies moeilijker te vervullen. Dit personeel komt dan ook regelmatig uit het buitenland. Ook specialistische functies op het gebied van stralingsbescherming en wetgeving, zoals algemeen coördinerend deskundigen stralingsbescherming, zijn moeilijk te vervullen.[29] Dit komt eveneens door het beperkte aantal opleidingen. Deze opleiding wordt eens in de vijf jaar gegeven met beperkte plaatsen, wat onvoldoende blijkt voor de huidige vraag.
- **Technisch personeel**: de arbeidsmarkt voor technisch geschoold personeel is zeer krap. Vanaf 2016 is het aantal openstaande technische vacatures flink gestegen. In het vierde kwartaal van 2023 waren er bijna 80.000 openstaande technische vacatures, tegenover 29.000 in 2016.[30] Dit tekort geldt voor mbo, hbo en wo, waarbij het tekort het grootst is op het mbo-niveau. Voor personeel met opleidingen zoals Operator C en Elektrotechniek is er grote concurrentie met andere technische bedrijven en sectoren. Aangezien mbo-studenten veelal in de eigen regio naar werk zoeken, is deze concurrentie vooral met andere bedrijven in dezelfde regio.

Hoewel deze vacatures soms meerdere keren moeten worden uitgezet en lang open kunnen staan, zijn ze over het algemeen nog wel te vervullen. Dat wil echter niet zeggen dat men ook altijd kandidaten met het gewenste profiel vindt. **Vacatures kunnen in grote mate ingevuld worden doordat organisaties in de kernenergiesector actief investeren in het intern opleiden van nieuwe medewerkers**.

2.2 Ontwikkelingen

Waar het bovenstaande een goed beeld geeft van de huidige stand van zaken, zijn binnen de sector een aantal ontwikkelingen die impact gaan hebben op de sector, die losstaan van de verschillende scenario's.

2.2.1 Nieuwe kerncentrales in het buitenland

Nederland is niet het enige land waar er hernieuwde interesse is in kernenergie. Volgens de *World Nuclear Association* zijn er diverse landen over de wereld en ook in Europa die beleidsvoorstellen hebben gedaan voor het bouwen van nieuwe kerncentrales, en waar nieuwe centrales zijn gepland of zelfs al worden gerealiseerd. In Europa gaat dit onder andere om Armenië, Frankrijk, Tsjechië en Polen.[31]

Het is op dit moment lastig te zeggen hoe deze ontwikkelingen in het buitenland precies gaan uitpakken, en of alle voorstellen daadwerkelijk ook tot bouw van nieuwe kerncentrales gaan leiden en op welke termijn. Het is echter wel aannemelijk dat **de realisatie van nieuwe kerncentrales elders in Europa impact zal hebben op zowel de vraag naar als het aanbod van relevant personeel in Nederland**. Het maakt het mogelijk lastiger om geschikt personeel voor deze fase uit Europa naar Nederland te halen. Wat betreft het aanbod van personeel kan het

[29] Berenschot (2022). Analyse toekomstige vraag naar nucleaire kennis(werkers) in Nederland. Bron: https://www.berenschot.nl/media/dwznf311/rapport-analyse-toekomstige-vraag-naar-nucleaire-experts-in-nederland-002.pdf

[30] Techniekpact (2024). Arbeidsvraag en -tekorten. Bron: https://techniekpact.nl/monitor-techniekpact/monitor/arbeidsvraag-en-tekorten#grafiek238

[31] World Nuclear Association (2024) Plans for New Reactors Worldwide. Via: https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/plans-for-new-reactors-worldwide

echter ook kansen bieden voor het uitwisselen van human capital of gezamenlijke werving. Het Europees werven van personeel zal volgens geïnterviewden noodzakelijk zijn.

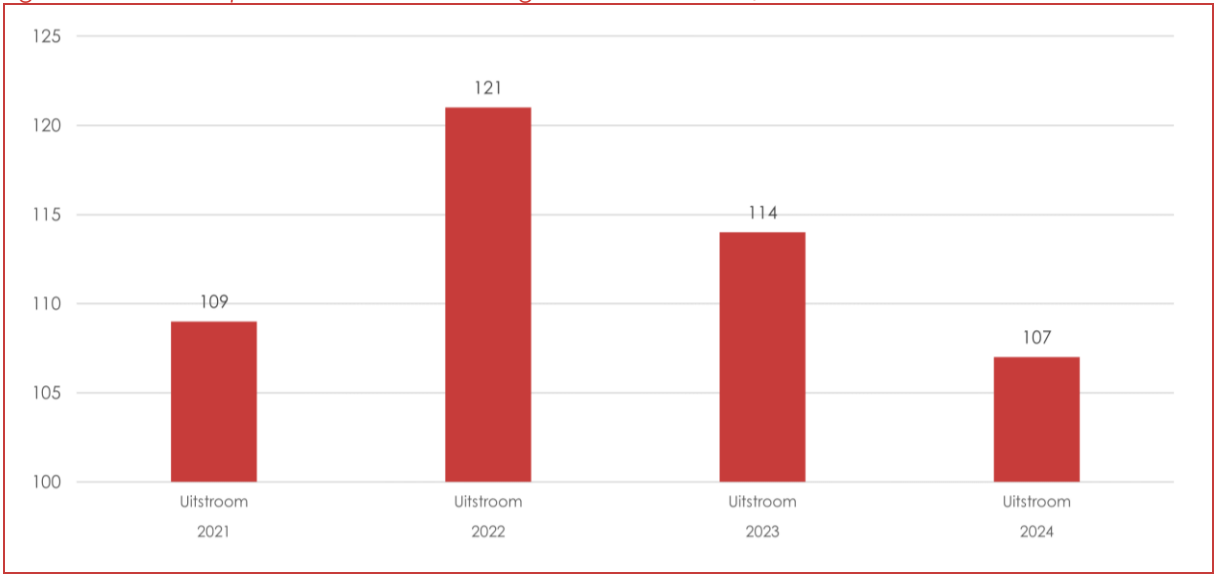
Tegelijkertijd kan het er voor zorgen dat er personeel uit Nederland wordt geworven om elders in Europa in de kernenergiesector aan de slag te gaan, waardoor het in Nederland lastiger kan worden om relevant personeel te behouden. De concurrentie is waarschijnlijk het meest aan de orde waar het de bouw en operatie van kerncentrales betreft, omdat in het buitenland daarvoor soortgelijk human capital nodig is.

2.2.2 *Uitstroom van personeel en vergrijzing*

De uitstroom van personeel in de kernenergiesector ontstaat doordat werknemers van baan wisselen, met pensioen gaan of om andere redenen niet meer werkzaam zijn (bijv. ontslag, ziekte of overlijden). We beschouwen in deze sectie de (netto) uitstroom in het verleden bij organisaties in de kernenergiesector en de verwachte toekomstige uitstroom in de kernenergiesector door pensionering. Dat laatste doen we aan de hand van de leeftijdsverdeling in de sector.

De gemiddelde dienstduur in de huidige kernenergiesector is 18 jaar. Er zitten echter wel grote verschillen in de gemiddelde dienstduur tussen de organisaties in de kernenergiesector: deze varieert van 7 tot 33 jaar. Figuur 11 laat het personeelsverloop zien voor 2021 t/m 2024. Deze cijfers beslaan het eerste halfjaar van 2024.

Figuur 11 Uitstroom personeel in de kernenergiesector van 2021 t/m 2024



Technopolis (2024)

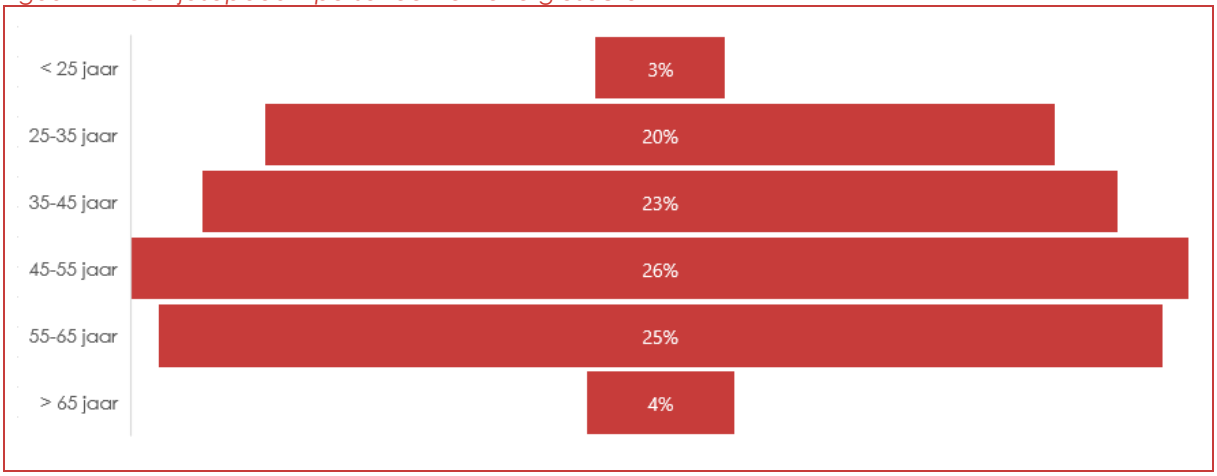
Jaarlijks stroomt zo'n 5-7% van het totale aantal werknemers uit. In de gehele industrie ligt de gemiddelde uitstroom vele male hoger – in 2018/2019 stroomde in de industriesector zo'n 12% uit.[32] De organisaties in de kernenergiesector in Nederland hebben echter personeels-bestanden met relatief hoge gemiddelde leeftijden, namelijk thans 50 jaar ten opzichte van 42 jaar voor de totale werkende beroepsbevolking.[33] De leeftijdsopbouw van werknemers in

[32] CBS (2022). Arbeidsmarktdynamiek in de jaren tien. Bron: https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/statistische-trends/2022/arbeidsmarktdynamiek-in-de-jaren-tien/4-instroom-en-uitstroom-per-bedrijfstak

[33] CBS (2024). Leeftijdsverdeling. Bron: https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/dashboard-bevolking/leeftijd/bevolking

de kernenergiesector is weergegeven in Figuur 12. Ongeveer 29% van het personeel, iedereen in de categorie boven de 55 jaar, zal de komende 12 jaar met pensioen gaan. Er ligt dus, alleen al op basis van pensionering, **een vervangingsvraag van rond de 30% in de komende 10 tot 15 jaar: bijna 600 FTE, ofwel tussen de 40 en 60 FTE per jaar.**

Figuur 12 Leeftijdsopbouw personeel kernenergiesector



Technopolis (2024)

Op basis van interviews en de in- en uitstroomdata, lijkt het op korte termijn vinden van voldoende personeel voor de huidige organisaties in de kernenergiesector geen probleem. Een gemis is echter wel het daarmee gepaard gaande **verlies van kennis en expertise**, zeker van ervaren gepensioneerde medewerkers. Het gaat veelal om medewerkers die lange tijd in de kernenergiesector op verschillende posities werkzaam zijn geweest en daardoor beschikken over een brede kennisbasis en ervaring die verder maar beperkt aanwezig is.[34] Het gemiddelde aantal jaren dienstverband van medewerkers op moment van vertrek of pensionering is rond de 18 jaar. De nucleaire sector is namelijk een sector waar men traditioneel behoorlijk lang bij dezelfde werkgever blijft. De uitdaging van het behouden en overdragen van kennis binnen de kernenergiesector blijft daarmee relevant. Enkele organisaties gaven aan hierop te anticiperen door al vroegtijdig (ruim voor pensionering van de ervaren medewerker) mensen aan te nemen zodat zij langer intern opgeleid kunnen worden en er meer tijd is voor kennisoverdracht door de meer ervaren medewerkers.

2.2.3 *Personeel korter op dezelfde plek*

Uit de interviews komt naar voren dat vrijwel alle organisaties signaleren dat **jongere werknemers meer gericht zijn op loopbaanontwikkeling en vaker van positie of organisatie veranderen.** Dit kan spanningen creëren wanneer medewerkers een lang en duur inwerk- of opleidingstraject volgen en vervolgens na een paar jaar alweer vertrekken, zeker als er een sterke groei in personeel is waardoor de capaciteit om intern op te leiden onder druk staat. Personeel zal na zo'n lang inwerk- en opleidingstraject waarschijnlijk echter wel binnen de nucleaire sector werkzaam blijven. Het gaat dus voor een deel over mobiliteit van werknemers tussen organisaties in de kernenergiesector.

[34] Berenschot (2022). Analyse toekomstige vraag naar nucleaire kennis(werkers) in Nederland. Bron: https://www.berenschot.nl/media/dwznf311/rapport-analyse-toekomstige-vraag-naar-nucleaire-experts-in-nederland-002.pdf

Diverse organisaties in de kernenergiesector geven aan al bezig te zijn om in te spelen op deze ontwikkelings- en groeibehoefte van personeel. Een voorbeeld is het opzetten van traineeships, waarbij nieuwe werknemers in diverse onderdelen van de organisatie kunnen werken. Dat dient zowel voor de opleiding en werving van nieuw personeel. Een ander voorbeeld is het ontwikkelen van duidelijke ontwikkelpaden binnen de eigen organisatie.

2.2.4 Nieuwe type reactoren / ontwikkeling SMR's

De belangrijkste innovatie op het gebied van kernenergiecentrales zit in de hoek van de Small Modular Reactors (SMR's). Zoals eerder beschreven omvat deze term niet alleen kleinere versies van de type Generatie-III+-kerncentrales, maar ook geheel nieuwe reactorconcepten. In Nederland zijn er momenteel enkele startups die aan de ontwikkeling van SMR's werken, zoals Thorizon en ULC-Energy. **Deze startups voorzien voor de komende jaren voor zichzelf een zeer sterke groei in personeel** – de mate waarin zal echter afhankelijk zijn van de ontwikkeling van de markt voor SMR's. Op dit moment geven ze aan nog relatief gemakkelijk aan personeel te komen, wat grotendeels lijkt te komen door de interesse van nieuwe werknemers in nieuwe technologie, specifiek in een nieuwe duurzame (nucleaire) technologie, en door hun internationale werving.

SMR's zijn minder groot dan conventionele reactoren (in omvang en vermogen) en kunnen mede daardoor gemakkelijker ingezet worden voor lokale energievoorziening. Dit kan **impact hebben op de regionale vraag naar personeel** voor met name de operationele fase. Indien er zich in de regio al organisaties in de kernenergiesector bevinden, kan dit de concurrentie voor personeel versterken. Het is echter nog onduidelijk of dit het bemoeilijkt om geschikt personeel te werven, of dat er een hotspot wordt gecreëerd die het totale aanbod juist vergroot. Wel zal er tijdens de bouwfase al begonnen moeten worden met het regionaal werven, opleiden en trainen van personeel voor de operationele fase – zeker omdat mbo- en hbo-opgeleid personeel uit de regio zal moeten komen. In regio's waar nog geen organisaties in de kernenergiesector zijn, kan dit om een extra inspanning en samenwerking met regionale onderwijsorganisaties vragen. Gezien de regionale markt en modulaire aanpak van SMR's is het onze verwachting dat leveranciers van SMR's hier ook een standaardaanpak of programma voor zullen (moeten) ontwikkelen.

2.2.5 Ontmanteling en eindberging

Momenteel wordt bij COVRA nucleair afval tijdelijk bovengronds opgeslagen, maar op termijn moet dit afval in een (ondergrondse) eindberging terechtkomen. Recentelijk (september 2024) heeft de staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat besloten om nu al te starten met de voorbereiding van de besluitvorming over de eindberging van radioactief afval.[35] Deze recente beleidswijziging zal een **versnelling geven van activiteiten op het gebied van eindberging** en dus op de vraag naar personeel voor dit vraagstuk. Een eindberging is niet eenvoudig te realiseren en vereist veel onderzoek. COVRA houdt dan ook rekening met een geleidelijke groei van de organisatie om dit onderzoek (mede) te doen en de benodigde kennis voor de eindberging te realiseren, los van de verschillende scenario's.

Daarnaast zal de ontmanteling van oude kernreactoren op termijn ook extra personeel vereisen. Het gaat daarbij in eerste instantie om de ontmanteling van de Kerncentrale Dodewaard en de Hoge Flux Reactor in Petten. Naar schatting zal de ontmanteling van de

[35] Kamerbrief van de staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat n.a.v. het adviesrapport van het Rathenau Instituut voor het besluitvormingsproces over het langdurig beheer van radioactief afval d.d. 4 september 2024

kerncentrale in Dodewaard ongeveer tien jaar duren, wat betekent dat er op termijn ook **hierom** een grotere vraag naar medewerkers zal ontstaan.[36]

2.3 Verwachtingen voor de toekomst

De kernenergiesector staat aan het begin van een forse groei, die nog prominenter wordt zodra er een definitieve keuze is gemaakt voor de specificaties en leverancier van de voorziene kerncentrales. Op dit moment staan alle organisaties in de kernenergiesector nog in de beginfase van deze verandering en inventariseren zij wat deze ontwikkelingen voor hun organisaties zal gaan betekenen.

De grootste effecten zijn te verwachten bij organisaties die verantwoordelijk zijn voor de voorbereiding, bouw en operatie van nieuwe kerncentrales. De informatie die wij verkregen hebben van de huidige organisaties in de kernenergiesector geeft dan ook slechts ten dele een beeld van hoe vraag en aanbod van human capital beïnvloed gaat worden door de nieuwe ontwikkelingen, omdat zij veelal in segmenten van de nucleaire keten zitten die maar in beperkte mate (direct) geraakt worden door de realisatie van nieuwe kerncentrales. Ook qua tijdspad zitten hierin verschillen. Zo zal de ANVS, gezien haar rol in vergunningverlening en toezicht bij de bouw van een kerncentrale, al vroeg moeten groeien in personeelsomvang terwijl er voor COVRA vooral implicaties op de langere termijn zullen zijn, vanwege hun rol in het bergen van het afval van reeds gerealiseerde kerncentrales. De vraag naar human capital zal dus per organisatie in de kernenergiesector sterk verschillen, zowel qua omvang als qua moment.

2.3.1 Kwantitatieve vraag naar personeel op basis van vergelijking met het buitenland

Om een inschatting te maken van de hoeveelheid en type human capital dat nodig is voor de realisatie, bouw en operatie van nieuwe generatie-III+-kerncentrales kijken we naar vergelijkbare trajecten in het buitenland.

De beste vergelijking kunnen we maken met Hinkley Point C in het Verenigd Koninkrijk. Hier bouwt EDF een dubbele kerncentrale (van het type *European Pressurised Reactor*) van in totaal 3.200 MWe, hetgeen goed vergelijkbaar is met twee Generatie-III+-kerncentrales zoals gepland in Nederland. Hinkley Point C heeft veel vertraging gekend (door allerhande oorzaken, waaronder de Coronapandemie en Brexit) en mede daardoor meer mensen (FTE) moeten inzetten tijdens de bouwfase dan oorspronkelijk ingeschat. Op voorhand kunnen we niet uitgaan van precies deze vertragende factoren in Nederland, daarom baseren wij ons vooral op publieke cijfers uit de planfase. Daarbij is het wel goed om op te merken dat dit dus eerder een onderschatting dan een overschatting oplevert, omdat er ook in Nederland factoren kunnen optreden die om meer personeel tijdens de bouwfase kunnen vragen.

EDF heeft vrij specifieke data (projecties) gepubliceerd die inzicht geven in de vraag naar personeel gedurende de voorbereiding, bouw en operatie van deze kerncentrale. Deze data (projecties) hebben we overgenomen en weergegeven in Figuur 13. Daaruit blijkt dat er op de piek van de bouwfase – in jaar 5 – zo'n 5.600 FTE nodig is[37], waarvan op dat moment voornamelijk mensen in de installatietechniek (zo'n 3.200 FTE). In de eerste 3 jaar is er voornamelijk behoefte aan werknemers op het gebied van bouw en constructie, waarvan er op de piek in jaar 3 zo'n 3.000 FTE nodig zijn. Vanaf jaar 3 beginnen er ook mensen met

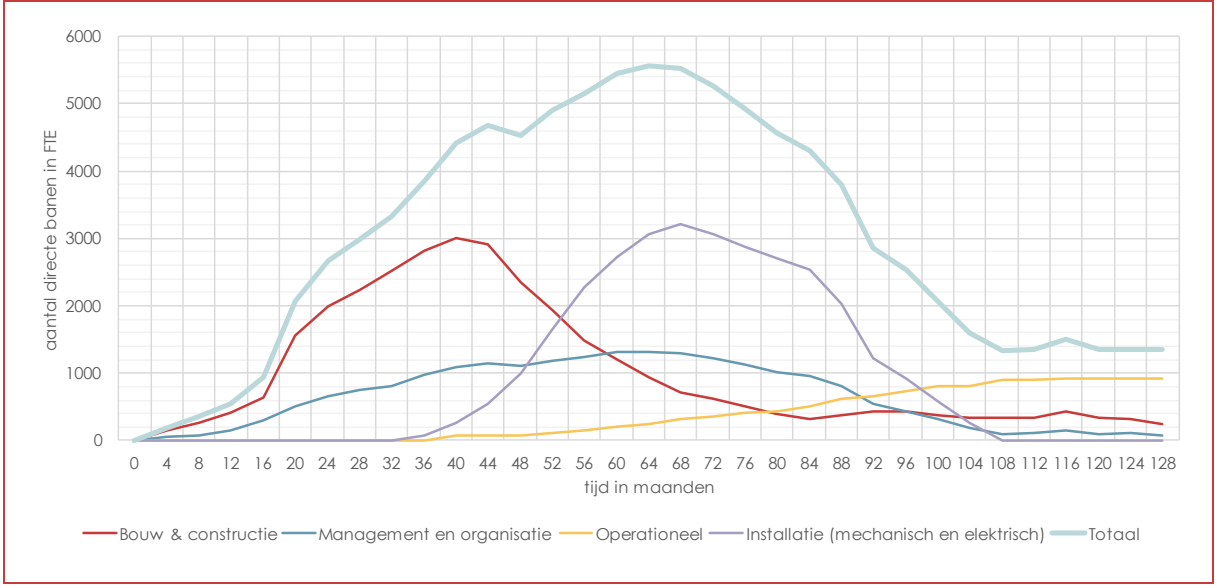
[36] NOS (2024). Kerncentrale Dodewaard kan ontmanteld worden dankzij overname. Bron: https://nos.nl/artikel/2513638-kerncentrale-dodewaard-kan-ontmanteld-worden-dankzij-overname

[37] EDF liet in 2022 weten dat deze piek hoger is dan gepland en uitkwam op 8.600 FTE mede door de vertragende effecten van de coronapandemie op de bouwfase. In 2024 bleek deze piekfase toch nog hoger te zijn: er waren 10.000 mensen betrokken bij de bouw op locatie. Zie voetnoot 47.

operationele taken ingewerkt te worden die uiteindelijk nodig zijn om de centrale te laten draaien – na 10 jaar komt dat uit op ruim 900 FTE. Dan blijven er ook nog wat mensen nodig met rollen in management en organisatie (zo'n 80 FTE), maar veel minder dan tijdens de realisatie bij de vendor (ruim 1.300 FTE tijdens de top in jaar 5). Het operationeel houden van deze (dubbele) kerncentrale zal uiteindelijk tegen de 1.000 FTE vragen. Uiteindelijk zijn er per jaar gemiddeld bijna 3.000 FTE voor de realisatie van twee kerncentrales nodig.

Bovenstaande data gaan over het aantal FTE dat op piekmomenten betrokken is bij de bouw, maar Figuur 13 laat zien dat het over de totale levensduur nog veel meer (unieke) mensen betreft. Er zijn namelijk op verschillende momenten, verschillende (unieke) mensen nodig. Recente cijfers voor Hinkley Point C stellen dat daar nu zo'n 15.000 mensen op locatie hebben gewerkt[38] en dat voor Sizewell C – een recent vergelijkbaar nieuwbouwproject in het VK – gerekend wordt met 25.000 mensen op locatie tijdens de gehele periode van start bouw tot ingebruikname van de kerncentrale.[39] **Het gaat dus naar verwachting om zo'n 15-25 duizend mensen die met name tijdens de bouwfase nodig zullen zijn. Tijdens de operationele fase gaat het om een veel kleinere en andere groep die vrij constant blijft op ruim 900 FTE.**

Figuur 13 Benodigde aantal banen per type functie en totaal voor de realisatie van twee kerncentrales op basis van data voor Hinkley Point C



Technopolis (2024), data verkregen uit publicaties van EDF[40] en de Britse overheid[41]. NB: deze data betreffen twee generatie-III+-kernenergiereactoren met een gezamenlijk vermogen van 3.200 MWe

Op basis van deze data van EDF, kunnen we ook een inschatting maken van de effecten als er vijf jaar later nog eens twee generatie-III+-kerncentrales gebouwd zullen worden in Nederland – d.w.z. de situatie in scenario 2.[42] Door de data uit Figuur 13 met een periode van 5 jaar te verschuiven en bij elkaar op te tellen, krijgen we een grove inschatting voor de situatie dat er twee maal twee generatie-III+-kerncentrales van elk zo'n 1.500 MWe op twee

[38] EDF (2022). Socio-economic Impact Report 2022. Bron: https://www.edfenergy.com/sites/default/files/hinkley_point_cs_socio-economic_impact_report_2022.pdf

[39] Barnes, M. (2020). 25k jobs to build Sizewell C boosting post-pandemic economy. EDF: https://www.sizewellc.com/news-views/jobs-to-build-sizewell-c-a-boost-for-post-pandemic-economy-unite/

[40] EDF (2014). From education to employment - Inspiring and strengthening the pathways to secure our nuclear future.

[41] Department for Business. Energy & Industrial Strategy (2018). Hinkley Point C Wider Benefits Realisation Plan.

[42] Dit is een veronderstelling die in he kader van de scenario's voor deze studie is gemaakt.

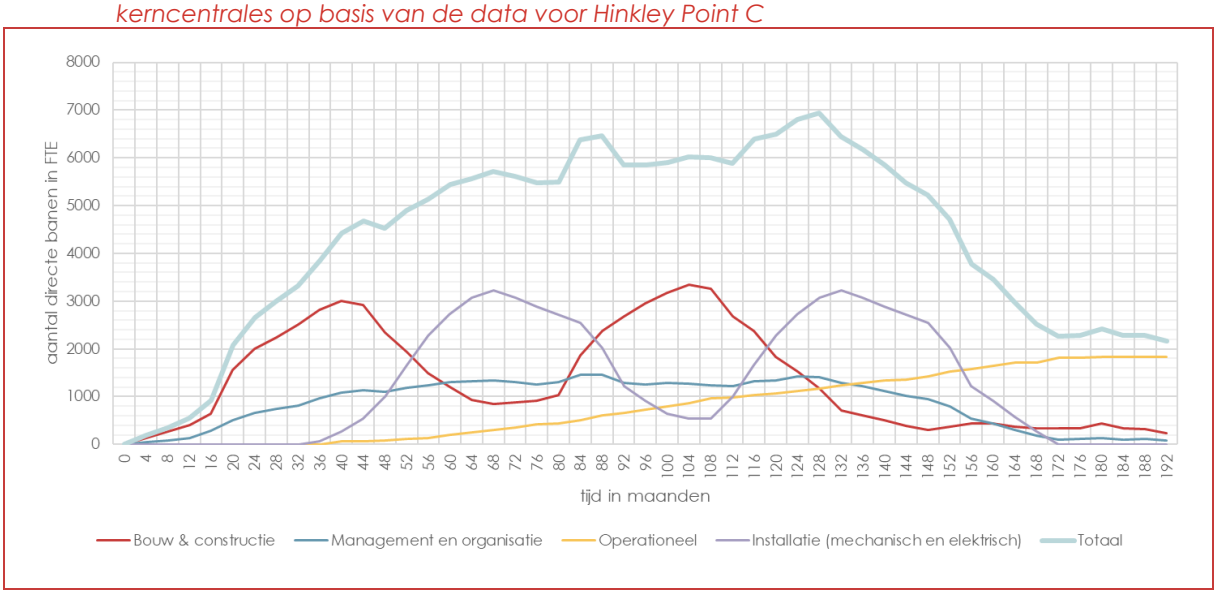
verschillende locaties worden gebouwd. Deze inschatting houdt geen rekening met leereffecten, efficiëntie of colocatie. Figuur 14 toont het beeld dat volgt uit deze inschatting.

Op basis van deze inschatting piekt het totaal aantal benodigde banen in jaar 11 op zo'n 7.000 FTE. Gemiddeld zijn er per jaar bijna 4.300 FTE nodig voor de realisatie van vier kerncentrales. Het benodigde personeel voor bouw en constructie en installatie schommelt in deze inschatting sterk: het slim (en mogelijk korter op elkaar) plannen van de bouw van twee maal twee kerncentrales kan die schommeling in aantal banen wellicht verminderen. In dat geval kunnen betrokkenen bij de bouw en installatie van de ene centrale na hun werkzaamheden aldaar aan de slag voor de andere kerncentrale. Dat zal die piek van het totaal aantal benodigde banen (tegelijkertijd) echter verhogen en naar voren schuiven.

Uit interviews blijkt dat **het bouwen van meerdere kerncentrales tegelijkertijd leidt tot grotere efficiëntie**. Zo'n 70% van het betrokken personeel kan over de realisatie van meerdere reactoren ingezet worden. **Het vraagt om een periode van 12-18 maanden tussen de bouwwerkzaamheden van verschillende kerncentrales om personeel echt van de ene klus naar de andere te bewegen**. Een periode van vijf jaar tussen de start van twee bouwprojecten is dus te lang om deze efficiëntie in human capital te benutten. Omdat de gekozen scenario's wel een tussenliggende periode van vijf jaar aannemen, hebben we deze efficiëntiewinst (van zo'n -35%) niet meegenomen in onze inschattingen.

Na de bouw en realisatie van vier kerncentrales, schatten we dat op basis van deze data voor de operationele fase van deze centrales in totaal ruimt 1.800 FTE aan personeel nodig zijn.

Figuur 14 Inschatting van het aantal banen per type functie en totaal voor de realisatie van vier kerncentrales op basis van de data voor Hinkley Point C



Technopolis (2024), data verkregen uit publicaties van EDF[43] en de Britse overheid[44]. NB: deze data betreffen twee maal twee generatie-III+-kernenergiereactoren met een gezamenlijk vermogen van 6.400 MWe, waarbij de bouw van laatste twee kernenergiereactoren 5 jaar later aanvangt dan de eerste twee kernenergiereactoren

Bovenstaande inschattingen geven waarschijnlijk het minimum aantal personeel aan – het zijn conservatieve inschattingen. Naast EDF zijn er ook andere buitenlandse bronnen die kunnen

[43] EDF (2014). From education to employment - Inspiring and strengthening the pathways to secure our nuclear future.

[44] Department for Business. Energy & Industrial Strategy (2018). Hinkley Point C Wider Benefits Realisation Plan.

helpen een inschatting te maken van het aantal mensen dat nodig is bij de bouw van een kerncentrale. Deze aantallen lopen uiteen en zijn soms moeilijk vergelijkbaar omdat niet altijd dezelfde eenheden en definities worden gebruikt, noch dezelfde bouwperiode. Zo ligt het aantal banen/mensen altijd hoger dan het aantal FTE. Bij Westinghouse spreekt men van zo'n 10.000 banen op het piekmoment in de constructie voor de bouw van twee kerncentrales[45]. In werkelijkheid komt ook EDF bij Hinkley Point C uit op een piek van zo'n 10.000 banen door diverse vertragende factoren (waaronder de Coronapandemie, Brexit, aanpassingen in het ontwerp).[46] Daarnaast heeft de OECD (2018) gekeken naar de directe werkgelegenheid door bouw en constructie van kerncentrales. Ook hier verschillen de aantallen, van 9.000 directe banen voor de bouw van vier kerncentrales in Zuid-Korea, tot bijna 14.000 directe banen voor de bouw van een kerncentrale in de VS.[47] Die aantallen volgen echter uit berekeningen vanuit (arbeids)kosten en zijn daardoor minder nauwkeurig. Deze aantallen geven echter wel de indruk dat de inschattingen die wij hanteren eerder een onderschatting dan een overschatting zijn.

2.3.2 *Kwantitatief en kwalitatieve vraag naar personeel uit de literatuur*

Ook het JRC heeft diverse rapporten[48,49] geschreven die inzicht bieden in het aantal mensen en het type mensen dat nodig is tijdens de bouwfase en operationele fase van nieuwe kerncentrales. Kwantitatief is deze informatie veelal gebaseerd op modellen, o.a. ontwikkeld door de IAEA, en kwalitatief vaak op input vanuit de sector.

2.3.2.1 Bouwfase

Figuur 15 laat zien dat **in de bouwfase slechts een fractie van het personeel nucleair opgeleid hoeft te zijn, een grotere groep moet genuclearisseerd zijn, maar het overgrote deel van het betrokken personeel hoeft alleen nucleair bewust te zijn**. Dit biedt een waardevol aanvullend inzicht in de personeelsachtergrond, waarbij wel opgemerkt dient te worden dat het JRC (2014) uitgaat van een bouwfase van slechts 6 jaar voor een kerncentrale, tegenover een totale periode van 10 jaar voor de realisatie (incl. voorbereiding en bouw) van nieuwe kerncentrales in onze scenario's. De modelmatige inschatting van de JRC is daarom minder geschikt om er kwantitatieve inzichten uit te kunnen putten.

[45] Het is hierbij niet duidelijk of het gaat over FTE of mensen. Dat kan een verschil opleveren van zo'n 500 mensen.

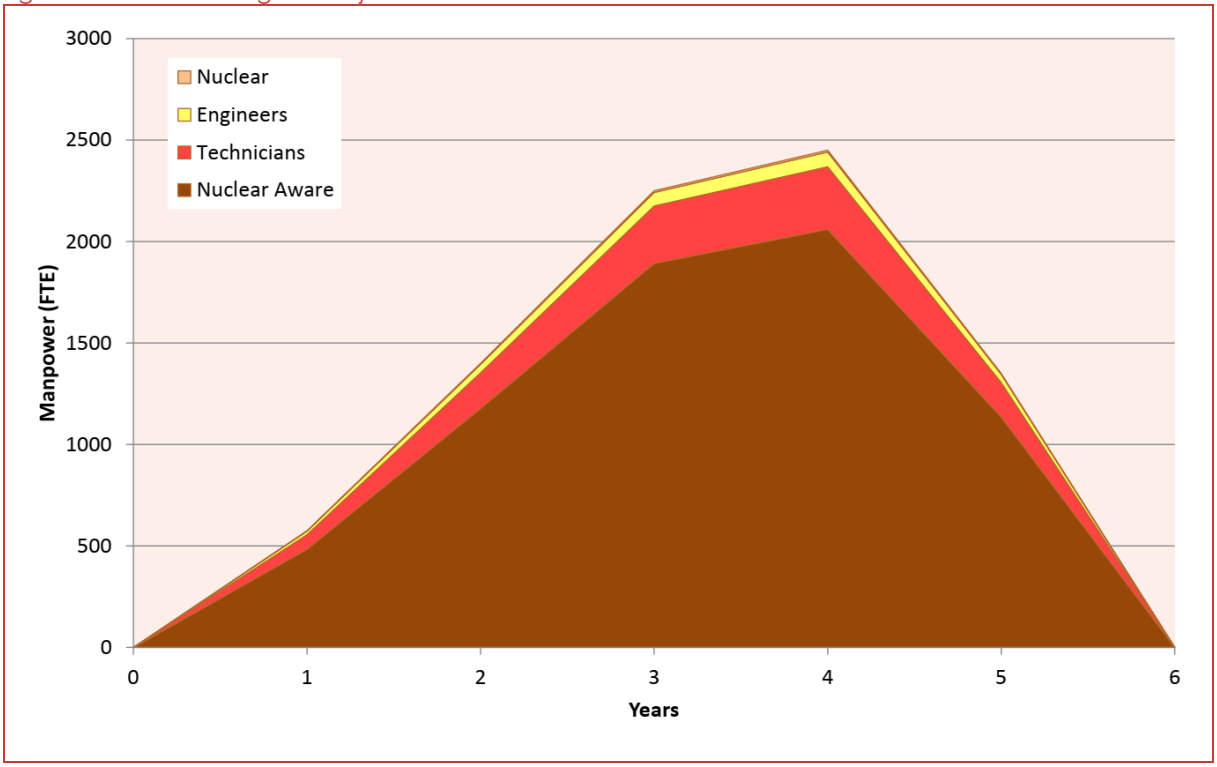
[46] Thorne, J. (2024). Workforce building Hinkley Point C could reach three times forecast number. West Somerset Free Press: https://www.wsfp.co.uk/news/workforce-building-hinkley-point-c-could-reach-three-times-forecast-number-685800

[47] OECD (2018). Measuring Employment Generated by the Nuclear Power Sector. Bron: https://www.oecd.org/en/publications/2018/10/measuring-employment-generated-by-the-nuclear-power-sector_g1g95158.html

[48] Roelofs, F. en U. von Estorff (2014). Top down workforce demand from energy scenarios: Influence of Long Term Operation. Petten: JRC.

[49] Chenel Ramos, C. (2018). Nuclear Job Taxonomy. Final Report. A competence-oriented classification of jobs in nuclear power plants. Luxembourg: JRC.

Figuur 15 Arbeidsvraag in FTE tijdens de bouwfase van een kerncentrale

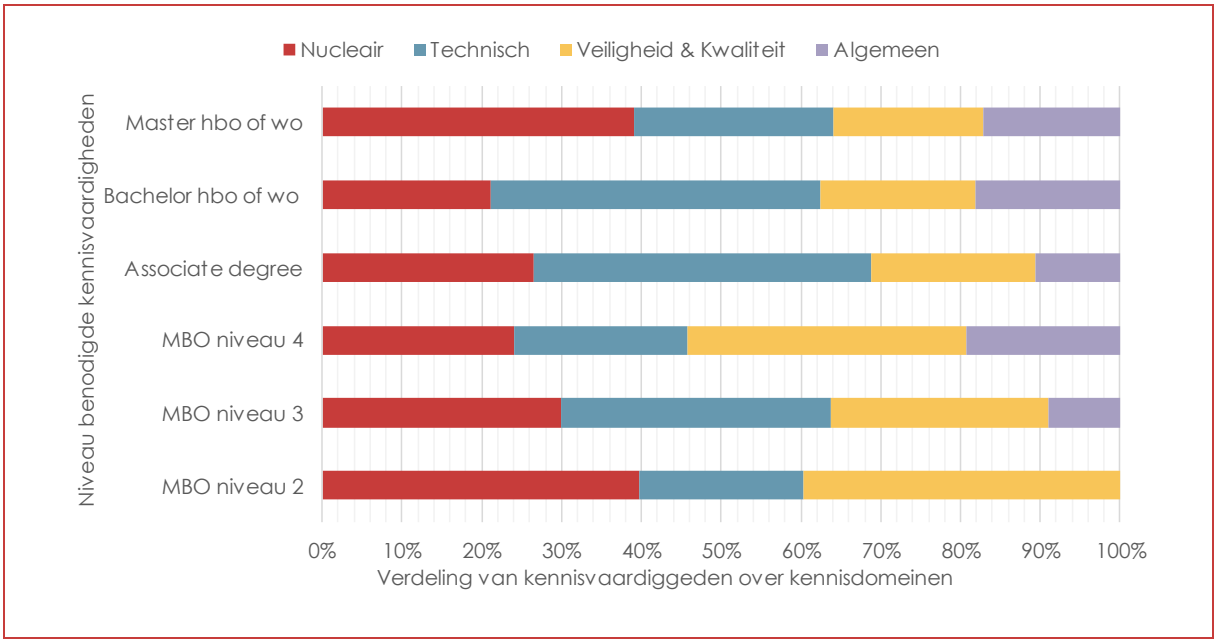


Uit: Roelofs, F. en U. von Estorff (2014). Top-down workforce demand from energy scenarios: Influence of Long Term Operation. Petten: JRC.

Het JRC (2018) heeft een taxonomie ontwikkeld voor banen in de kernenergiesector.[50] Daaruit valt verder af te leiden welke kennis er op welk niveau nodig is bij de bouw van kerncentrales. In de bouwfase zijn op elk niveau (m.u.v. mbo-niveau 1) mensen nodig met enige kennisvaardigheden over het nucleaire domein (zie Figuur 16), bijvoorbeeld op het gebied van stralingsbescherming, standaarden en nucleaire componenten. Dit kan verkregen zijn in de opleiding (nucleair personeel) of later, door instructie of training (genuclearisseerd personeel). Daarnaast is er vaak ook **kennis nodig over veiligheid en kwaliteit, zodat iedereen veilig werkt in een nucleaire omgeving en de strenge kwaliteits- en documentatie-eisen voor de bouw van kerncentrales worden behaald** (nucleair bewust personeel). Veel **functies brengen ook technische vaardigheden met zich mee, elk op hun eigen technische domein**, zoals lastechniek, bouw- en constructietechniek, lucht- en koeltechniek, elektrische installatietechniek, ICT etc. Ook zijn er op sommige niveaus meer algemene kennisvaardigheden nodig, zoals op het gebied van technisch projectmanagement, digitale vaardigheden en financiële kennis.

[50] Chenel Ramos, C. (2018). Nuclear Job Taxonomy. Final Report. A competence-oriented classification of jobs in nuclear power plants. Luxembourg: JRC.

Figuur 16 Verdeling van verschillende type kennisvaardigheden per opleidingsniveau tijdens de bouwfase van een kerncentrale



Technopolis (2024) op basis van Chenel Ramos, C. (2018). Nuclear Job Taxonomy. Final Report. A competence-oriented classification of jobs in nuclear power plants. Luxembourg: JRC.

Maximaal 30% van de functies tijdens de bouwfase vereisen kennisvaardigden op mbo-4 niveau of hoger.[51] Het grootste deel (>70%) van het benodigde personeel tijdens de bouwfase betreft meer praktische en uitvoerende functies met kennisvaardigheden op mbo-2/3 niveau,.[52] Er zijn in deze fase weinig functies waarin kennis op PhD-niveau nodig is. Van het benodigde personeel dat hbo- of wo-opgeleid is, wordt voor een deel voorzien door de *vendor* en toeleveranciers (uit binnen- of buitenland). Bijlage A.1 geeft meer detail over het type functies dat volgens de taxonomie van de JRC nodig is tijdens de bouwfase. Op basis van het niveau van kennisvaardigheden hebben we deze functies ingedeeld per opleidingsniveau.

2.3.2.2 Operationele fase

Voor de operatie van een kerncentrale hangt het benodigde aantal personeel af van het vermogen. Het JRC (2014) heeft dat gemodelleerd in Figuur 17. Daaruit volgt dat voor een kerncentrale van zo'n 1.500 MWe ruim 550 FTE nodig zal zijn. Als we niet uitgaan van het delen van personeel tussen de verschillende centrales, zouden twee kerncentrales dan zo'n 1.100 FTE vereisen en vier kerncentrales zo'n 2.200 FTE. De JRC schat, modelmatig, het aantal werknemers dus zo'n 10-20% hoger in dan EDF dat doet in haar (meer recente) data.

Uit Figuur 17 volgt dat van **het totaal aantal medewerkers in de operationele fase van een kerncentrale zo'n 15% een nucleaire opleiding nodig heeft**. In de praktijk kan dat aandeel echter ook lager liggen – de IAEA gaat in sommige andere publicaties uit van zo'n 5%.[53] **Het**

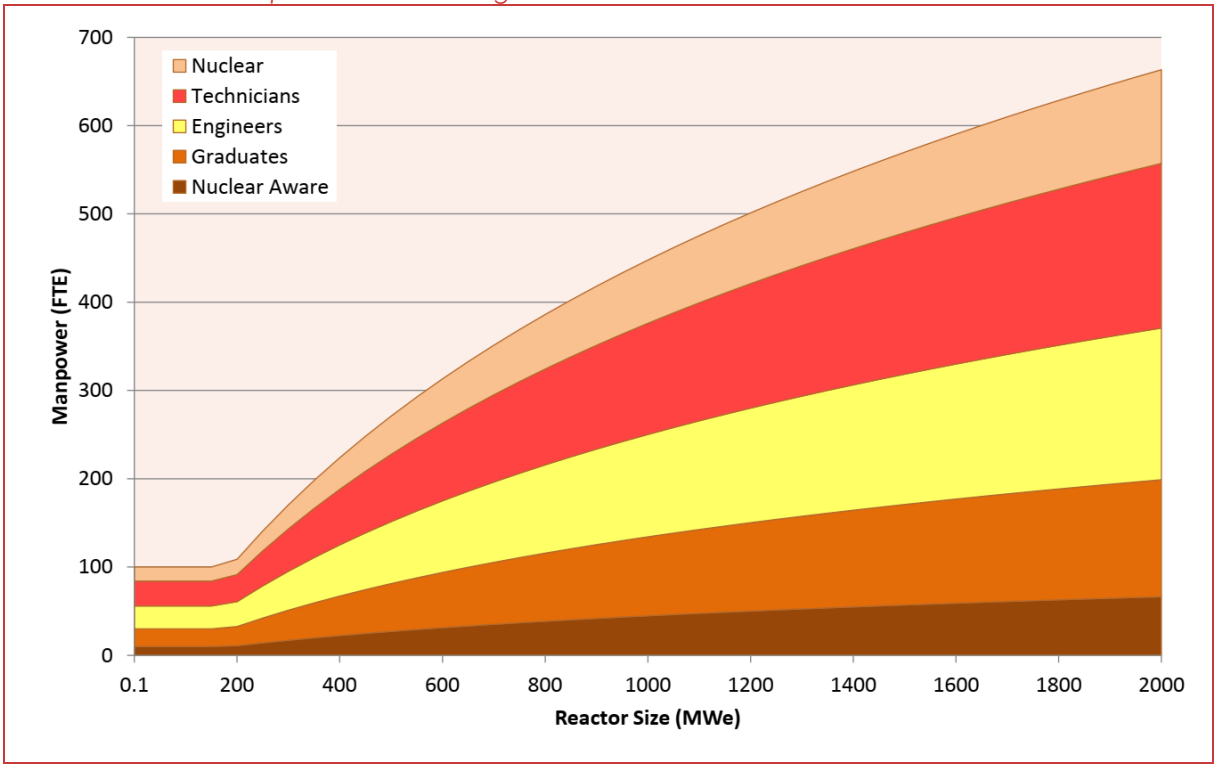
[51] Chenel Ramos, C. (2018). Nuclear Job Taxonomy. Final Report. A competence-oriented classification of jobs in nuclear power plants. Luxembourg: JRC.

[52] Op basis van interviews.

[53] Paganonne, B. (2012). Workforce Planning for Nuclear Power Programmes. Presentatie van de IAEA voor de 5th Nuclear Energy Management School in Trieste op 20 November 2012.

grootste deel van de medewerkers valt echter binnen de categorie genuclearisseerd, terwijl een klein deel (10% in Figuur 17) alleen nucleair bewust hoeft te zijn.

Figuur 17 Ontwikkeling van benodigd personeel in FTE tijdens de operationele fase van een kerncentrale per eenheid vermogen in MWe

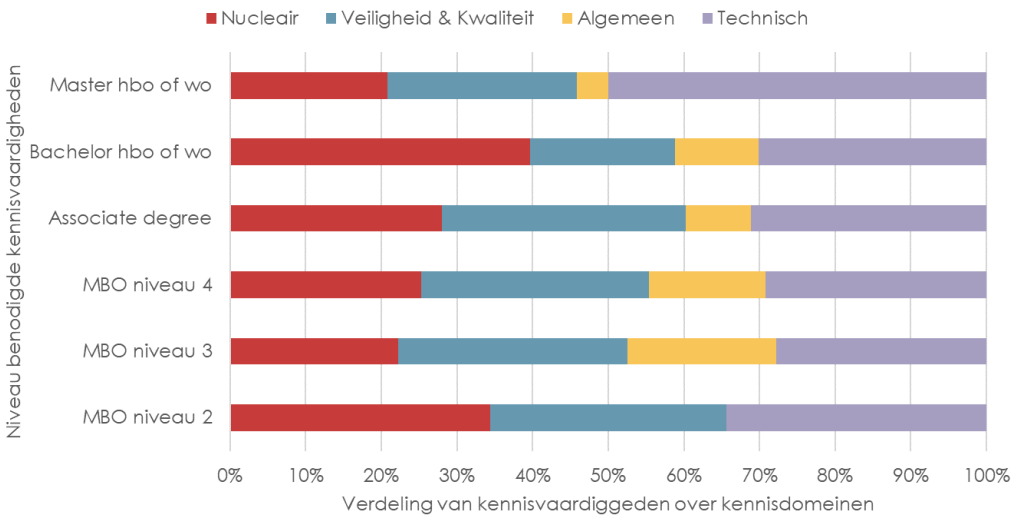


Uit: Roelofs, F. en U. von Estorff (2014). Top-down workforce demand from energy scenarios: Influence of Long Term Operation. Petten: JRC.

Een verdere kwalitatieve duiding van het benodigde type personeel volgt uit de taxonomie van het JRC[54] voor banen bij een kerncentrale. In de operationele fase zijn **op elk niveau (m.u.v. mbo niveau 1) mensen nodig met enige kennisvaardigheden over het nucleaire domein** (zie Figuur 18), bijvoorbeeld op het gebied van stralingsbescherming, de werking van de centrale, de splijtstofcyclus en fysische en chemische reacties in de centrale. Dit kan verkregen zijn in de opleiding (nucleair personeel) of later door instructie of training (genuclearisseerd personeel), bijvoorbeeld in een simulator van de reactor. Daarnaast is er vaak ook kennis nodig over veiligheid en regelgeving, zodat iedereen in een nucleaire omgeving veilig en volgens alle wettelijke regels en afspraken werkt (nucleair bewust personeel). **Ook in de operationele fase vragen veel functies ook om technische vaardigheden**, bijvoorbeeld in elektrotechniek, IT en werktuigbouwkunde. Ook zijn er op sommige niveaus meer algemene kennisvaardigheden nodig, zoals op het gebied van (project)management, HRM, digitale vaardigheden en financiën.

[54] Chenel Ramos, C. (2018). Nuclear Job Taxonomy. Final Report. A competence-oriented classification of jobs in nuclear power plants. Luxembourg: JRC.

Figuur 18 Verdeling van verschillende type kennisvaardigheden per opleidingsniveau tijdens de operationele fase van een kerncentrale



Technopolis (2024) op basis van Chenel Ramos, C. (2018). Nuclear Job Taxonomy. Final Report. A competence-oriented classification of jobs in nuclear power plants. Luxembourg: JRC.

Veel functies vereisen kennisvaardigden op mbo-4 niveau of hoger. **Volgens de IAEA zal 50-70% van het personeel mbo-opgeleid zijn en de overige 30-50% hbo- of wo-opgeleid**.[55] Een beperkt aantal meer praktische en uitvoerende functies vragen om kennisvaardigheden op mbo-2/3 niveau. Er zijn wederom weinig functies waarin kennis op PhD-niveau nodig is. Bijlage A.2 geeft meer detail over het type functies dat volgens de taxonomie van het JRC nodig is tijdens de operationele fase van een kerncentrale. Op basis van het niveau van kennisvaardigheden hebben we deze functies ingedeeld naar opleidingsniveau.

2.3.3 *Scenario 1*

In scenario 1 gaan wij uit van bedrijfsduurverlening (Long Term Operation: LTO) van de Kerncentrale Borssele. Daarnaast zullen er in dit scenario twee nieuwe kerncentrales van generatie-III+ voorbereid en gebouwd worden in de periode vanaf 2025, die operationeel zullen zijn vanaf 2035.

Het aantal medewerkers in de kernenergiesector zal in dit scenario toenemen, voornamelijk door de bouw en operatie van de twee nieuwe kerncentrales. Daarnaast zal er sprake zijn van een groei bij de overige organisaties in de kernenergiesector.

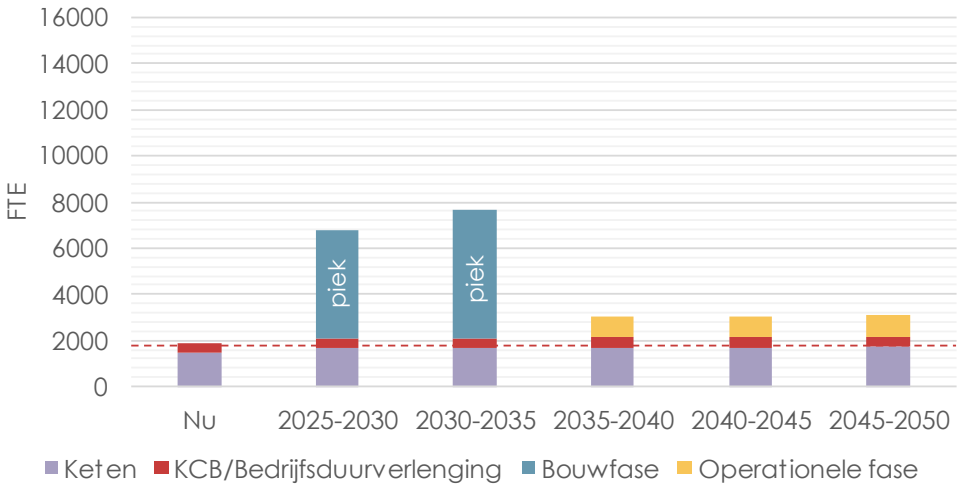
Voor bedrijfsduurverlenging van de KCB zal het huidige personeelsbestand bij EPZ (zo'n 400 FTE) grotendeels voldoende zijn.[56] Het is aannemelijk dat voor specifieke werkzaamheden gedurende de periode waarin de centrale wordt gereedgemaakt voor bedrijfsduurverlenging extra personeel wordt ingehuurd, maar dit zal naar verwachting verwaarloosbaar zijn ten opzichte van het huidige aantal medewerkers.

[55] Paganonne, B. (2012). Workforce Planning for Nuclear Power Programmes. Presentatie van de IAEA voor de 5th Nuclear Energy Management School in Trieste op 20 November 2012.

[56] Omvang op basis van website EPZ. Bron: https://www.epz.nl/wie-wij-zijn/over-ons/

Het aantal medewerkers (in FTE) in de kernenergiesector zal in dit scenario vanaf 2025 toenemen en pieken in de periode 2030-2035. Dit is weergegeven in Figuur 19. **Na de bouwfase zal het aantal medewerkers in de kernenergiesector vrij stabiel blijven – naar schatting rond de 3.000 FTE. Dat is een groei van ruim 60% ten opzichte van het aantal medewerkers in de huidige kernenergiesector** (bijna 1.900 FTE). Die groei is voornamelijk toe te wijzen aan de te realiseren nieuwe kerncentrales.[57]

Figuur 19 Inschatting van het verwachte aantal medewerkers (in FTE) in de kernenergiesector tijdens verschillende periodes onder aanname van scenario 1



Technopolis (2024) op basis van data aangeleverd door organisaties in de kernenergiesector en de data van EDF over Hinkley Point C uit Figuur 13

De vraag naar personeel stijgt niet bij alle organisaties even hard, en zoals eerder aangegeven ook niet overal tegelijkertijd. Zo moeten sommige partijen zoals de bouwers en de organisaties voor beleidsontwikkeling en vergunningverlening al relatief vroeg in het proces actief betrokken zijn, terwijl de organisaties of organisatieonderdelen die later verantwoordelijk zijn voor de operationele aspecten pas later volledig actief hoeven te zijn. Andere partijen, zoals Urenco en COVRA, verwachten niet dat de bouw van twee nieuwe kerncentrales überhaupt veel impact zullen hebben op hun vraag naar personeel. Wel kunnen, afhankelijk van de locatie, de nieuwe kerncentrales leiden tot verhoogde concurrentie voor het technisch personeel uit de regio. Dit kan het aannemen van nieuw of vervangend personeel bemoeilijken.

Ook zal er behoefte zijn aan verschillende profielen afhankelijk van de tijd en fase. Zo is er aan het **begin van de bouw, in ons scenario 2025-2030, behoefte aan personeel dat een civieltechnische achtergrond** heeft. **In de latere fase van de bouw, 2030-2035 verschuift dit naar personeel dat meer mechanisch en elektrisch onderlegd is**. Voor de operatie van de kerncentrale is weer een ander profiel nodig, zoals iemand met een operatoropleiding. Dit betekent dat personeel dat betrokken is bij de bouw, niet per se doorschuift naar operationeel werk. Wel is het zo dat het eerste team voor de operatie van de kerncentrale al tijdens de

[57] Voor deze inschattingen hebben we gebruik gemaakt van data aangeleverd door organisaties in de kernenergiesector (bedrijfsduurverlenging en keten) en van de schattingen op basis van de data uit het buitenland (bouwfase en operationele fase), zoals besproken in 2.3.1. Daarbij zijn we voor de bouwfase uitgegaan van de piekmomenten in de genoemde periodes. Deze inschattingen geven dus de verwachte maxima aan in personeel.

bouwfase wordt ingericht. Zij kennen de kerncentrale, kunnen die bedienen en daarmee ook tijdens de (latere) bouwfase testen uitvoeren. Per fase zijn dus steeds nieuwe profielen, en daarmee nieuwe werknemers, nodig.

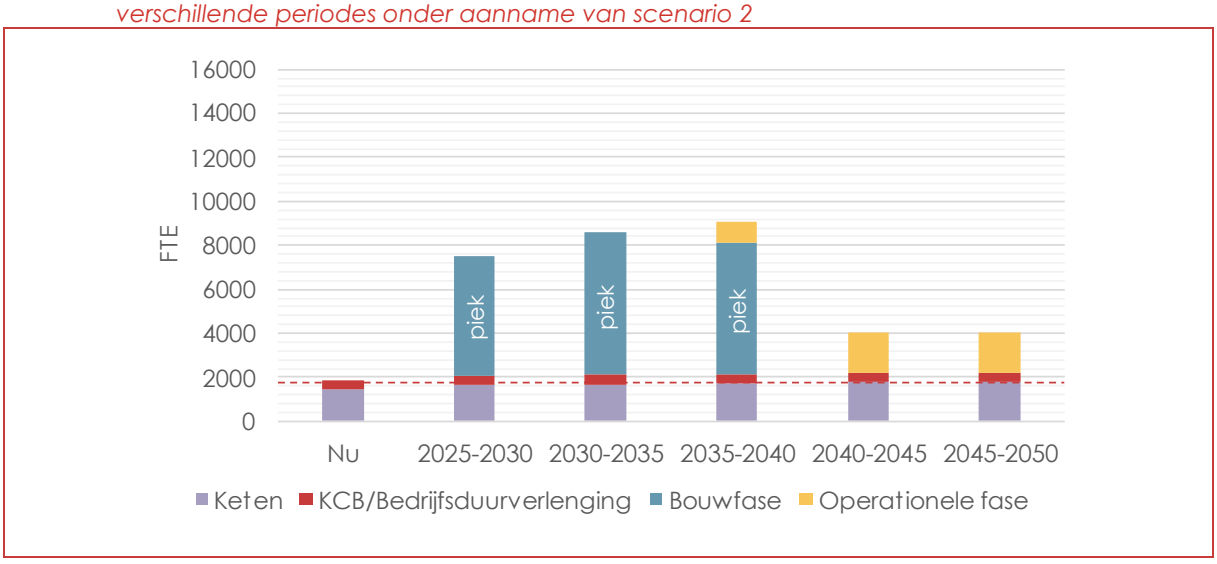
2.3.4 *Scenario 2*

Scenario 2 bouwt voort op scenario 1 en gaat naast de bedrijfsduurverlening van de KCB uit van vier nieuwe generatie-III+-kerncentrales, die in twee fases voorbereid en gebouwd zullen worden. In dit scenario is de aanname dat de realisatie van de derde en de vierde centrale in 2030 zal beginnen, waarna ze in 2040 operationeel zouden moeten zijn.

Aangezien dit scenario een uitbreiding is van de activiteiten in scenario 1, zal er sprake zijn van een grotere groei van het aantal werknemers in de kernenergiesector. Ook de overige organisaties in de kernenergiesector (elders in de keten) zullen daardoor een grotere groei doormaken, al is dat verwaarloosbaar in relatie tot het aantal werknemers dat nodig is voor de bouw en operatie van de nieuwe kerncentrales. De vraag naar human capital door bedrijfsduurverlenging blijft ongewijzigd ten opzichte van scenario 1.

Het aantal medewerkers (in FTE) in de kernenergiesector zal in dit scenario vanaf 2025 toenemen en pieken in de periode 2035-2040. Dit is weergegeven in Figuur 20. Deze piek is later en hoger dan in scenario 1, omdat er sprake is van de bouw van vier kerncentrales en in de genoemde periode de eerste twee kerncentrales al operationeel zijn. **Na de bouwfase zal het aantal medewerkers in de kernenergiesector vrij stabiel blijven – naar schatting rond de 4.000 FTE. Dat is een groei van ruim 110% ten opzichte van het aantal medewerkers in de huidige kernenergiesector** (bijna 1.900 FTE). Die groei is voornamelijk toe te wijzen aan de te realiseren nieuwe kerncentrales.[57]

Figuur 20 Inschatting van het verwachte aantal medewerkers (in FTE) in de kernenergiesector tijdens verschillende periodes onder aanname van scenario 2



Technopolis (2024) op basis van data aangeleverd door organisaties in de kernenergiesector en de data van EDF over Hinkley Point C uit Figuur 13

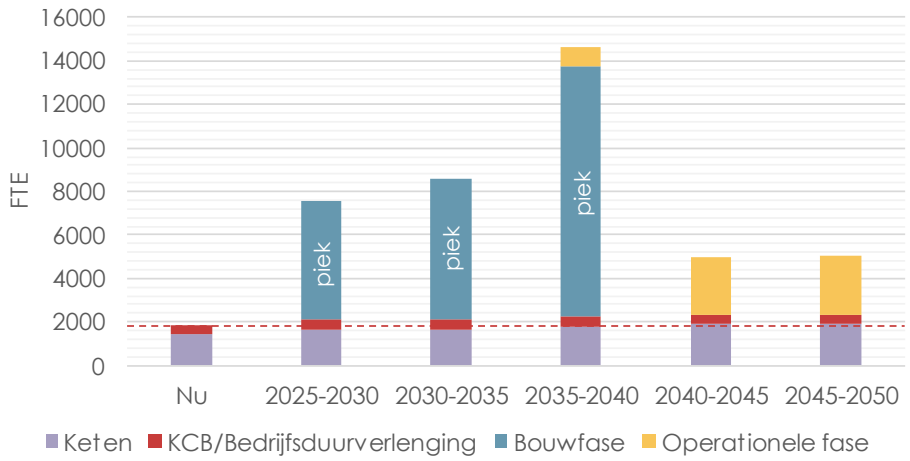
2.3.5 *Scenario 3*

In scenario 3 gaan we er naast de bedrijfsduurverlening van de KCB en de realisatie van vier nieuwe generatie-III+-kerncentrales (scenario 2), ook uit van de realisatie van vijf SMR's in Nederland vanaf 2035 die per 2040 operationeel zijn.

Dit scenario is wederom een uitbreiding van het vorige scenario's, met als gevolg een nog verdere groei van het aantal werknemers in de kernenergiesector. Omdat de uitbreiding hier SMR's betreft, zullen in dit scenario naar verwachting ook overige organisaties die elders in de keten opereren een grotere groei doormaken, bijvoorbeeld vanwege de inzet van andere typen brandstof en wijzigingen in de aard van het afval bij sommige SMR's. Die groei is echter opnieuw verwaarloosbaar in relatie tot het aantal werknemers dat nodig is voor de bouw en operatie van de nieuwe kerncentrales en SMR's.

Het aantal medewerkers (in FTE) in de kernenergiesector zal in scenario 3 vanaf 2025 toenemen en wederom pieken in de periode 2035-2040. Dit is weergegeven in Figuur 20. Deze piek is echter hoger dan in scenario 2, omdat er in deze periode additioneel vijf SMR's gebouwd worden. Deze bouwfase overlapt met de bouw van twee extra generatie-III+-kerncentrales. **Na de bouwfase zal het aantal medewerkers in de kernenergiesector vrij stabiel blijven – naar schatting ongeveer 5.000 FTE. Dat is een groei van zo'n 165% ten opzichte van het aantal medewerkers in de huidige kernenergiesector** (bijna 1.900 FTE). Die groei is voornamelijk toe te wijzen aan de operationele fase van de te realiseren nieuwe kerncentrales.[57]

Figuur 21 Inschatting van het verwachte aantal medewerkers (in FTE) in de kernenergiesector tijdens verschillende periodes onder aanname van scenario 3



Technopolis (2024) op basis van data aangeleverd door organisaties in de kernenergiesector, de data van EDF over Hinkley Point C uit Figuur 13 en eerdere inschattingen van Technopolis (2023) over het aantal medewerkers benodigd voor de bouw- en operationele fase van SMR's.[58]

Voor inschattingen over de bouwfase van SMR's hebben we gebruik gemaakt van schattingen voor de bouw van de BWRX-300 SMR van GE Hitachi in Canada. PwC heeft hiervoor in 2021

[58] Technopolis en Strategy Unit (2023). Economische en maatschappelijke impact van de ontwikkeling van een Molten Salt Reactor in Nederland. Een ex-ante impactbeoordeling voor het MOSAIEC Consortium in opdracht van de Provincie Noord-Brabant.

berekend dat de bouwfase met zo'n 1.100 FTE directe werkgelegenheid gepaard gaat[59]. Dat is substantieel minder dan voor een conventionele kerncentrale (zie scenario's 0 en 1). Een studie van Purdue University en Duke Energy bevestigt deze inschatting: zij gaan uit van 1.000-2.000 tijdelijke banen voor de bouw en constructie van SMR's.[60] Omdat SMR's (groten)deels prefab worden gemaakt (waarschijnlijk voor een groot deel in het buitenland, afhankelijk van de leverancier) gaan we ervan uit dat we aan de onderkant van deze range moeten zitten en houden we de inschatting van PwC aan. We zijn daarbij niet uitgegaan van efficiëntie door een slimme planning van de bouw van de vijf SMR's, omdat deze verschillende ontwerpen en van verschillende leveranciers kunnen zijn en er sprake kan zijn van verschillende (regionale) opdrachtgevers. Het totale aantal FTE in de bouwfase voor vijf SMR's schatten we daarom op 5.500 FTE. Voor het aantal FTE benodigd in de operationele fase van een SMR hebben we ons gebaseerd op het gemiddelde aantal FTE/MWe van diverse SMR's (zie tabel 1): 0,55 FTE/MWe. Op basis daarvan hebben we het maximum aantal FTE voor de operationele fase bepaald door uit te gaan van vijf SMR's van 300 MWe. Dat komt neer op zo'n 165 FTE per SMR en in totaal bijna 825 FTE voor vijf SMR's.

Tabel 1 Aantal medewerkers in de operationele fase van verschillende typen kleine kerncentrales

Type	MW	FTE	FTE/MW	Bron
Small Modular Reactor (BWRX-300 FOAK, boiling water reactor)	300	101	0,34	PWC (2021). *Transforming Canada's energy future: The socio-economic impact of GE Hitachi SMRs.*
Small and Medium Sized conventional or Advanced Reactor	300-350	100-250	0,33-0,71	Purdue University en Duke Energy (2023). Small Modular Reactor and Advanced Reactor Feasibility Study Interim Report.
Small and Medium Sized conventional Reactors (PBMR, 1 module)	110	53	0,48	IAEA (2001). *Staffing requirements for future small and medium reactors (SMRs) based on operating experience and projections.*
Small and Medium Sized conventional Reactors (GT-MGR)	262	166	0,63	
Small and Medium Sized conventional Reactors (GT-MHR)	285	230	0,81	

Technopolis (2023) – zie voetnoot 58.

De effecten van SMR's op de vraag naar personeel zijn momenteel nog het moeilijkst in te schatten. Dat komt doordat er verschillende soorten SMR's in ontwikkeling zijn, er nog amper SMR's zijn gebouwd (alleen in Rusland en China) en leveranciers uit binnen- en buitenland kunnen komen. Berenschot (2022) schat in dat SMR's in Nederland zo'n 15 extra nucleaire experts zouden vereisen.[61] Indien SMR's in Nederland geproduceerd zullen worden, zal dat een groter effect hebben op de vraag naar arbeid in de kernenergiesector en verderop in de keten. Daarnaast hebben ook de ontwerpen van SMR's effect. Zo wordt er in Nederland door

[59] PWC (2021). *Transforming Canada's energy future: The socio-economic impact of GE Hitachi SMRs.*

[60] Purdue University en Duke Energy (2023). Small Modular Reactor and Advanced Reactor Feasibility Study Interim Report.

[61] Berenschot (2022). Analyse toekomstige vraag naar nucleaire kennis(werkers) in Nederland. Bron: https://www.berenschot.nl/media/dwznf311/rapport-analyse-toekomstige-vraag-naar-nucleaire-experts-in-nederland-002.pdf

Thorizon gewerkt aan een gesmolten zout-reactor, een SMR van Generatie IV, waarvoor een ander type brandstof nodig is, en die een andere afvalstroom oplevert. Indien deze SMR's reeds binnen scenario 3 gerealiseerd zouden worden, dan zou dat ook effect kunnen hebben op benodigde kennis en aantal medewerkers bij COVRA in haar rol als beheerder en verwerker van radioactief afval en de ANVS in haar rol als toezichthouder. In de praktijk is dat laatste al het geval: recentelijk is de ANVS samen met Franse toezichthouder begonnen met de voorbereidende beoordeling van de gesmolten zout-SMR van de Nederlands-Franse startup Thorizon.[62]

2.4 Onderwijsbehoefte

Bovenstaande analyse van de kwalitatieve en kwantitatieve vraag naar personeel vormt de belangrijkste input voor het beter in beeld krijgen van de onderwijsbehoefte.

2.4.1 Onderwijsbehoefte nucleaire keten

Binnen de nucleaire keten is er vooral behoefte aan technisch opgeleid personeel, waarvan slechts een klein deel nucleair opgeleid hoeft te zijn. Een **groter aanbod van technisch personeel lijkt hierin de grootste bottleneck** te zijn in alle onderwijsvormen. Organisaties in de huidige kernenergiesector geven aan dat vacatures voor technische functies momenteel nog gevuld kunnen worden, maar dat het aantal respondenten op vacatures afneemt. Hierdoor kunnen bedrijven minder selectief zijn bij het kiezen van kandidaten en moeten zij vaker genoegen nemen met minder ervaren of minder goed gekwalificeerde werknemers hetgeen meer interne opleiding vereist.

Organisaties geven aan de volgende behoeftes te hebben:

- **Meer basiskennis over ioniserende straling en kernenergie in het technisch onderwijs is gewenst vanuit de nucleaire keten.** Interne opleiding om meer nucleaire kennis op te doen blijft bij veel nucleaire organisaties nodig, maar basiskennis over straling en radioactiviteit vermindert de tijd die hiervoor nodig is. Aandacht hiervoor in het initieel onderwijs kan bij studenten bovendien ook interesse wekken om te gaan werken in kernenergie.
- **Meer post-initiële opleidingen en trainingen op het gebied van stralingsbescherming en met basiskennis over straling, de nucleaire keten en nucleaire technologie**. Uit interviews blijkt dat de interesse in dergelijke cursussen en trainingen is toegenomen (o.a. vanuit de overheid) en dat die doorgaans snel vol zitten. Eerdere rapporten wezen ook al op de beperkte capaciteit voor stralingsbeschermingsonderwijs.[63]
- **Meer nucleair opgeleid personeel, met name bij kennisorganisaties**. Deze experts komen overwegend van de TU Delft of uit het buitenland. Voor sommige organisaties is werving vanuit het buitenland slechts beperkt mogelijk vanwege vereisten voor Nederlandse taalvaardigheid of mogelijke problemen bij het verkrijgen van de benodigde '*security clearance*'.

[62] Thorizon (2024). Dutch and French regulators collaborate on Thorizon's molten salt reactor preparatory review. Bron: https://thorizon.com/news/58/dutch-and-french-regulators-collaborate-on-thorizon%E2%80%99s-molten-salt-reactor-preparatory-review

[63] Onder andere: Berenschot (2022). Analyse toekomstige vraag naar nucleaire kennis(werkers) in Nederland. Bron: https://www.berenschot.nl/media/dwznf311/rapport-analyse-toekomstige-vraag-naar-nucleaire-experts-in-nederland-002.pdf & Technopolis (2022). De arbeidsmarkt in de Nederlandse nucleaire sector. Bron: https://www.nucleairnederland.nl/app/uploads/2023/04/technopolis-group-2022-de-arbeidsmarkt-in-de-nederlandse-nucleaire-sector-eindrapportage-kopie-1.pdf

2.4.2 *Onderwijsbehoefte in de bouwfase*

De onderwijsbehoefte voor de bouwfase valt vooral af te leiden uit het buitenland. Als er afspraken worden gemaakt over de werkgelegenheid voor Nederland en de bijdrage van Nederlandse bedrijven aan de bouw van kerncentrales, zoals in het Verenigd Koninkrijk, zal er ook een sterke binnenlandse (grotendeels regionale) behoefte zijn aan onderwijs en training.

De bouwfase lijkt ook **vooral baat te hebben bij een groter aanbod van technisch personeel, met name op mbo-niveau**. Het gaat daarbij veel om ambachtslieden zoals uitvoerders, elektriciens, lassers, machinisten grondverzet en kranen, betonwerkers, pijpfitters, installateurs, staalbewerkers etc.

Voor de bouw van nieuwe kerncentrales is **ook bij bouwbedrijven en toeleveranciers in de keten kennis nodig**. Een voorbeeld van een knelpunt dat in het buitenland voorkwam is het tekort aan gekwalificeerde lassers. Binnen de nucleaire sector moet namelijk gewerkt worden volgens strikt voorgeschreven specificaties om te voldoen aan de hoogste kwaliteitsnormen. Voor veel bedrijven en werknemers van buiten de nucleaire sector, is deze mate van controle en precisie nieuw waardoor extra opleiding noodzakelijk is.

In het Verenigd Koninkrijk wordt bij de bouw van Hinkley Point C aan deze behoefte voldaan doordat **de *vendor* samen met onderwijsinstellingen investeert in opleidingen**. Zo zijn er centers of excellence opgezet voor lassers, elektrotechnici en constructie-/metaalwerkers. Daarnaast zijn er skills- en innovatieprogramma's opgezet voor de bouw, waar mensen voor allerlei functies voor de bouw van een kerncentrale worden opgeleid samen met de aannemers die betrokken zijn bij de bouw. Tevens zijn er stages en leerwerktrajecten voor deze beroepen bij Hinkley Point C. Dit zijn allemaal maatregelen om ervoor te zorgen dat er voldoende gekwalificeerd personeel op het juiste moment tijdens de bouwfase beschikbaar is.

Er is ook wel **behoefte aan hbo- en wo-opgeleid personeel in technische en natuurwetenschappelijke richtingen**. Voorbeelden zijn opleidingen in civiele techniek, bouwkunde, werktuigbouwkunde, elektrotechniek, (project)management en veiligheidskunde. Bij Hinkley Point C wordt die behoefte o.a. ingevuld door stages. Deze stages zijn voor veel verschillende opleidingsniveaus beschikbaar. Ze duren ongeveer twee jaar en leiden op tot beroepen van project management tot onderhouds- en operationele techniek, afhankelijk van de achtergrond van de student. Ze betalen relatief goed en dienen met name om werken bij een kerncentrale aantrekkelijk en laagdrempelig te maken voor studenten.

Het gaat in deze fase **vooral om nucleair-bewust personeel**. De behoefte aan mensen met een nucleaire achtergrond is tijdens de bouwfase beperkt en wordt deels ook door de *vendor* ingebracht. Wel is dergelijke kennis nodig bij de toezichthoudende organisatie(s). Dit wordt deels ingevuld door mensen aan te trekken met kennis op andere technische terreinen die daarna nucleaire kennis opdoen – zo'n intern inwerk-/opleidingstraject kan bij een toezichthouder tot twee jaar duren. [64]

2.4.3 *Onderwijsbehoefte in de operationele fase*

Tijdens de bouwfase moeten er al mensen opgeleid worden voor de operationele fase. Ook in deze fase is er **behoefte aan vooral technisch geschoold personeel, waarvan 50-70% op mbo-niveau**. De meeste van hen zullen pas post-initieel nucleaire kennis opdoen – zo'n 75% betreft genuclearisseerd personeel.

[64] Berenschot (2022). Analyse toekomstige vraag naar nucleaire kennis(werkers) in Nederland. Bron: https://www.berenschot.nl/media/dwznf311/rapport-analyse-toekomstige-vraag-naar-nucleaire-experts-in-nederland-002.pdf

Zodra er radioactief materiaal in de centrale aanwezig is, moeten er mensen zijn die **kennis hebben van stralingsbescherming en moeten werknemers weten hoe ze veilig kunnen werken in een omgeving met straling**. Daarnaast is er behoefte aan mensen die goed weten hoe de kerncentrale werkt/bediend wordt, hoe de verschillende installaties werken, welke wet- en regelgeving van toepassing is, wat de internationale afspraken zijn , hoe toezicht, logistiek en administratie rondom de splijtstof (brandstof en afval) is georganiseerd, etc. Deels gaat het om normale bedrijfsvoering van een energiecentrale, deels om specifieke rollen en kennis voor een kerncentrale.

Op basis van de JRC's *Nuclear Job Taxonomy* kunnen we een inschatting maken van de benodigde kennis en het bijbehorende opleidingsniveau. Dit is weergegeven in Figuur 22. Deze kennis en expertise overlapt met kennis voor tijdens de bouwfase, met name zodra de bouw richting de ingebruikname gaat en er radioactief materiaal aanwezig is. Uit dit overzicht blijkt dat er voor alle opleidingsniveaus (in enige mate) behoefte is aan kennis op het gebied van stralingsbescherming, nucleaire veiligheid, bijbehorende regelgeving, standaarden en procedures, systemen binnen de kerncentrale en de splijtstofcyclus. Deze kennis kan deels post-initieel worden ingericht, maar ook onderdeel zijn van meer specifieke initiële opleidingen of onderdelen van opleidingen.

Figuur 22 Relevante kennisvaardigheden voor bouw en operatie afgeleid van de JRC's Nuclear Job Taxonomy



Technopolis (2024) op basis van JRC (2018)[65]

***Vendors* leveren een bijdrage aan het opleiden van personeel voor de operationele fase**. Dit zijn in feite bedrijfsopleidingen, soms samen met onderwijs- en kennisorganisaties binnen de kernenergiesector. Een deel van het personeel wordt bijvoorbeeld door de *vendor* getraind in een simulator van de centrale. Er zijn daarnaast buitenlandse trainingsprogramma's die een bijdrage kunnen leveren aan het opleiden van personeel, bijvoorbeeld in Frankrijk (zie sectie 3.3.2.2). Op termijn moet een land zelf mensen kunnen opleiden voor het operationeel houden van de eigen kerncentrales. Een training of bedrijfsopleiding daarvoor wordt idealiter al vanaf het begin of zelfs voor de start van de operatie van een nieuwe kerncentrale ingericht.

[65] Chenel Ramos, C. (2018). Nuclear Job Taxonomy. Final Report. JRC, doi: 10.2760/090414.

3 Aanbod van human capital

3.1 Heden

3.1.1 Bestaande kennis en expertise aan onderwijsinstellingen

Nucleaire kennis is in het Nederlandse onderwijs geconcentreerd op een paar plekken, voornamelijk op de universiteiten. De grootste kennishub is het reactorinstituut dat onderdeel is van de **TU Delft**. Dit instituut fungeert al langere tijd als het Nederlandse kenniscentrum voor onderzoek en onderwijs gericht op kennis over kernfysica en ioniserende straling. Er is vanuit het MMIP recent ook geld vrij gekomen voor een aantal nieuwe nucleaire leerstoelen en PhD-posities, waardoor nucleair onderzoek en onderwijs verstevigd kan worden. Dit is nodig, aangezien in Delft experts op het gebied van reactortechnologie met emeritaat zijn gegaan, die nog niet zijn vervangen.[66] Ook bij verschillende opleidingen rond stralingshygiëne loopt het aantal docenten en het onderzoek terug.

Op het moment beschikt ook de **Rijksuniversiteit Groningen** (RUG) (nog) over een hoogleraar met nucleaire kennis. Er worden hier twee nucleaire vakken gegeven: nucleaire energie en *nucleair power plants*. Ook wordt er onderzoek gedaan op het gebied van het modelleren van (de materialen die nodig zijn voor nieuwe) kernenergiecentrales en sensoren.

Aan de **Technische Universiteit Eindhoven** (TU/e) zit met name kennis en expertise op het gebied van kernfusie. In hun opleidingen op het gebied van (technische) natuurkunde komen wel relevante nucleaire aspecten aan bod, maar deze zijn veelal gericht op kernenergie door kernfusie en niet op *nuclear engineering*, de onderwijsrichting die relevant is voor de realisatie van generatie-III+-reactoren.

Het universitaire nucleaire onderzoek in Nederland is van relatief hoge kwaliteit[67]. Met partijen zoals Thorizon, de TU Delft en NRG, beschikt Nederland in principe over een goede uitgangspositie op het gebied van nieuwe innovaties zoals de ontwikkeling van een *Molten Salt Reactor*.

Op het **mbo en hbo** is er op dit moment eigenlijk geen nucleaire kennis aanwezig. Waar mbo- en hbo-instellingen aangeven wel geïnteresseerd te zijn in het opzetten van nucleaire opleidingen of trajecten, geven ze ook aan dat de vereiste inhoudelijke kennis die nodig is om zo'n opleiding in te richten op dit moment daar niet aanwezig is. Hiervoor zouden mensen aangenomen moeten worden of zouden er externe docenten (bijvoorbeeld via de *vendors* of de *Nuclear Academy*/NRG) ingezet moeten worden.

Tegelijkertijd betekent dit niet dat er vanuit deze onderwijsinstellingen geen mensen beschikbaar komen die in aanmerking zouden kunnen komen voor het werken in deze sector. Over het algemeen zoekt de kernenergiesector namelijk naar personeel met een technische achtergrond, waarbij het van meerwaarde is als deze al een nucleair randje hebben. Tegelijkertijd is het niet strikt noodzakelijk dat zij ook volledig nucleair geschoold zijn. Nucleaire keuzevakken, afstudeertrajecten of tracks helpen om studenten in ieder geval deze basiskennis te laten verwerven en ze daarmee sneller inzetbaar te maken. Bovendien kan het in belangrijke mate bijdragen aan het interesseren van studenten voor een loopbaan in de kernenergiesector.

---

[66] De Ingenieur (2021). Twee nieuwe kerncentrales, hoe haalbaar is dat? Bron: https://www.deingenieur.nl/artikel/twee-nieuwe-kerncentrales-hoe-haalbaar-is-dat

[67] Nucleair Nederland (2017). Kernenergie voor onze toekomst. Bron: https://www.kernvisie.com/4bee7367-96fe-4990-aa76-655828359968-18/roadmap-kernenergie-voor-onze-toekomst.pdf

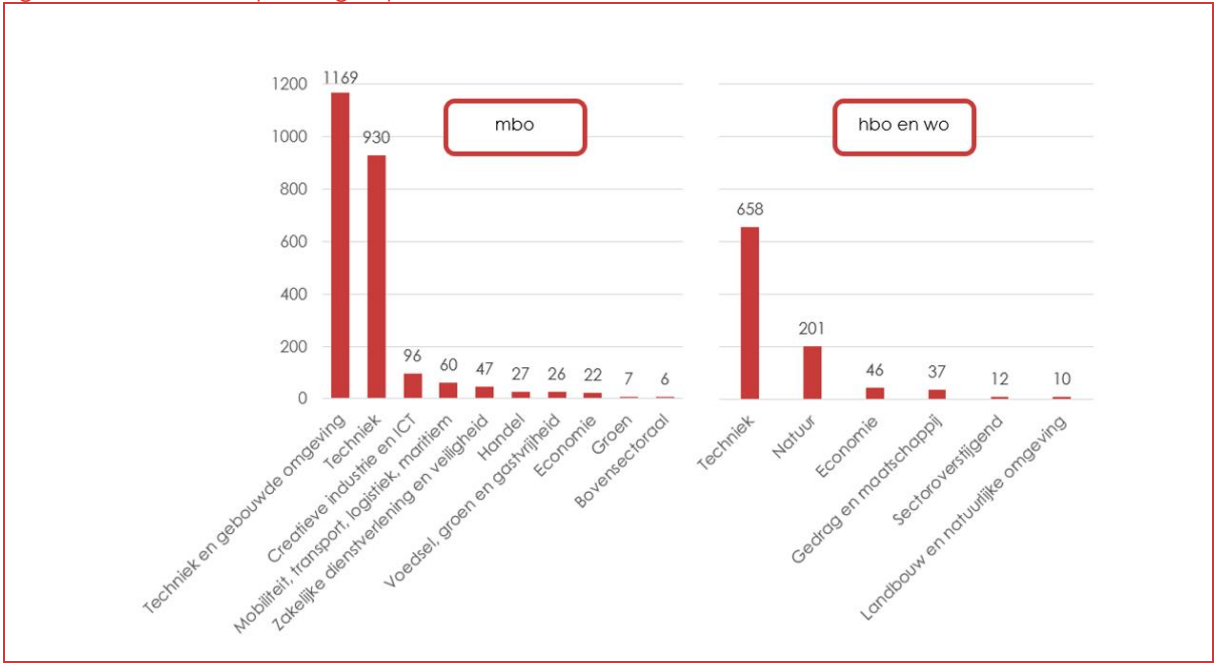
3.1.2 *Relevante opleidingen*

De opleidingen in het initieel onderwijs die relevant zijn voor de kernenergiesector zijn geselecteerd op basis van de volgende criteria:

- Opleidingen die tijdens dit onderzoek als relevant zijn aangemerkt door organisaties aan zowel de vraag- als aanbodzijde van de arbeidsmarkt voor kernenergie.
- Opleidingen die als relevant zijn geïdentificeerd in het rapport van Technopolis (2022)[68]. Deze selectie is toentertijd gevalideerd door de nucleaire sector, maar had wel een bredere scope omdat de studie ook het medische domein omvatte. In dit onderzoek zijn de medische- en zorgopleidingen uit deze selectie weggelaten.
- Opleidingen die sinds 2022 zijn toegevoegd aan het onderwijsaanbod en die – naar ons inzicht – sterk verwant zijn aan opleidingen die op basis van bovenstaande criteria zijn geselecteerd.

De selectie van relevante opleidingen staat in Figuur 23 weergeven per onderwijsdomein, aan de hand van de domeinverdeling van de DUO open onderwijsdata.[69] **Hieruit blijkt dat er in totaal bijna 3.400 opleidingen in Nederland aangeboden worden die relevant kunnen zijn voor de kernenergiesector.** Hierbij moeten we uiteraard wel benadrukken dat dit overwegend opleidingen zijn waar kernenergie of ioniserende straling niet of nauwelijks aan bod komt: ondanks dat het opleidingen zijn die relevant zijn voor de sector zijn het geen opleidingen die specifiek gericht zijn op deze sector.

Figuur 23 Relevante opleidingen per domein



Technopolis (2024), op basis van open data van DUO (2024). Totaal is 3.354 opleidingen, verdeeld over hbo en wo (N=964) en mbo (N=2390)

[68] Technopolis (2022). De arbeidsmarkt in de Nederlandse nucleaire sector. Bron: https://www.ensuringnuclearperformance.com/media/2rihrej5/technopolis-group-2022-de-arbeidsmarkt-in-de-nederlandse-nucleaire-sector-eindrapportage-kopie.pdf

[69] Zie ook: https://duo.nl/open_onderwijsdata/middelbaar-beroepsonderwijs/

3.1.2.1 Nucleaire opleidingen

Er zijn in Nederland geen voltijd bachelor- of masteropleidingen die zich specifiek richten op de kernenergiesector. **De enige manier om in Nederland een opgeleid te worden tot 'nucleair personeel', het topje van de nucleaire piramide (zie sectie 1.2.2), is door een aantekening *Nuclear Science and Engineering* te halen**. Dit is geen volledig curriculum maar een aantekening die aan de TU Delft gehaald kan worden binnen de masteropleidingen *Applied Physics*, *Chemical Engineering* en *Sustainable Energy Technology*. Hiervoor moeten ze de masterspecialisatie *Nuclear Science and Engineering* hebben gevolgd, een thesisproject hebben gedaan op nucleair gebied, relevante nucleaire keuzevakken hebben gevolgd en eventueel een nucleaire stage hebben gedaan[70]. Er zijn per jaar gemiddeld 10-15 studenten die een afstudeerproject rondom kernenergie en radiochemie doen.

Er zijn meer studenten die in hun opleiding wel in aanraking komen met nucleaire kennis, zonder dat ze deze aantekening halen, bijvoorbeeld door het volgen van een of meerdere keuzevakken die zich richten op nucleaire kennis. Deze worden veelal gevolgd door studenten van studies zoals *Applied Physics*, *Chemical Engineering en Energy and Environmental Sciences*. Een keuzevak is hooguit 5% van het onderwijsprogramma. **Nucleaire keuzevakken die zich specifiek op kernsplijting en kernenergie richten zijn te vinden aan de TU Delft en de Rijksuniversiteit Groningen**. De nucleaire keuzevakken voor bachelorstudenten worden hier het meest gevolgd. In beide onderwijsinstellingen zijn dit gemiddeld ongeveer 100 studenten per jaar. Voor masterstudenten zijn meer keuzevakken beschikbaar, maar deze worden door minder studenten gevolgd. Het vak dat het meest gevolgd wordt door masterstudenten aan de TU Delft is *Introduction to Nuclear Science and Engineering*. Hieraan nemen gemiddeld iets minder dan 60 studenten per jaar deel. Aan de Rijksuniversiteit Groningen is dat het vak *Nuclear Power Technology*, waar gemiddeld iets minder dan 20 studenten per jaar aan deelnemen. **Zo komen dus in ieder geval enkele tientallen studenten per jaar in aanraking met nucleaire technologie.**

Er zijn ook vakken aan de Technische Universiteit Eindhoven en de Universiteit Twente die raken aan kernsplijting en kernenergie, maar dit is als onderdeel van bredere vakken die zich bijvoorbeeld richten op alternatieve energiebronnen of subatomaire fysica in het algemeen.

Op het mbo en het hbo zijn er ook geen (volledige) opleidingen rondom kernenergie. Er zijn momenteel ontwikkelingen gaande om keuzedelen (mbo) en een minor (hbo) te ontwikkelen. Zo hebben enkele mbo-instellingen een intentieverklaring getekend met de nucleaire sector, met als doel een nucleair keuzedeel (15% van de opleidingstijd) te ontwikkelen, waarvan de eerste in september 2024 inmiddels is gestart. Bij een aantal hbo-instellingen wordt gewerkt aan het ontwikkelen van een nucleaire minor, (12,5% van de opleidingstijd). Meer informatie hierover staat in sectie 4.2.

3.1.2.2 Niet-nucleaire opleidingen

Nagenoeg alle 3.400 relevante opleidingen zijn niet-nucleair. Het merendeel daarvan (meer dan 3.000 opleidingen) bevindt zich op het gebied van de techniek en natuurwetenschappen (STEM). Dit geldt voor mbo, hbo en wo. Technische kennis in brede zin is relevant in de kernenergiesector, waarbij opleidingen als procesoperator op het mbo en logistiek en technische natuurkunde op het hbo specifiek worden gezien als relevant voor de sector. Ook opleidingen in andere onderwijsdomeinen zijn belangrijk voor organisaties in de kernenergiesector, zoals juridische opleidingen ten behoeve van

[70] Zie ook: https://www.tudelft.nl/tnw/over-faculteit/afdelingen/radiation-science-technology/education/annotation-nuclear-science-and-engineering

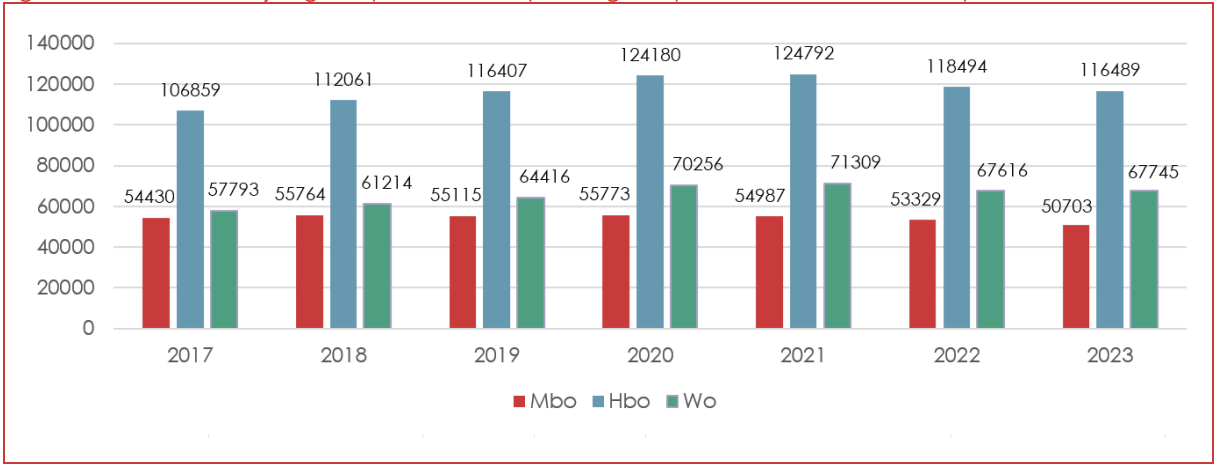
vergunningverleningstrajecten, en logistiek, transport en management voor de bouw van nieuwe kerncentrales.

Deze mensen dienen over het algemeen nog wel bijgeschoold moeten worden, bijvoorbeeld door interne opleidingstrajecten, om ook daadwerkelijk in de sector aan het werk te kunnen gaan. Afhankelijk van de deze opleidingstrajecten zouden de medewerkers gezien kunnen worden als vallend onder de categorie 'genuclearisseerd' in de nucleaire piramide.[71]

3.1.3 In- en uitstroom van relevante opleidingen

Er is de laatste drie jaar een daling in het aantal mbo-studenten dat een relevante opleiding voor de kernenergiesector volgt. In 2023 was dit 9% minder dan in 2020. Deze trend van teruglopende studenteninstroom in het mbo is overigens algemeen en heeft te maken met zowel demografische trends (minder schoolgaande kinderen), als met het gegeven dat jongeren steeds minder kozen voor het mbo.[72]

Figuur 24 Inschrijvingen op relevante opleidingen op mbo, hbo en wo in de periode 2017 - 2023



Technopolis (2024), op basis van open data van DUO (2024).

In totaal volgen er jaarlijks zo'n 235.000 studenten (mbo, hbo en wo) relevante opleidingen voor de kernenergiesector (zie Figuur 24). Het aantal studenten dat aan een relevante opleiding afstudeert ligt echter wel lager, gezien de uitval van studenten. Dit is het geval voor 23% van de mbo-studenten, 22% van de hbo-studenten en voor 20% van de wo-studenten.[73]

Het aantal studenten dat jaarlijks aan een relevante opleiding afstudeert is circa 50.000. Het aantal afgestudeerde studenten is in de periode 2016-2022 met ruim 40% toegenomen: van iets meer dan 40.700 afstudeerders in 2016 naar iets meer dan 57.700 afstudeerders in 2022. Figuur 25 geeft de ontwikkelingen weer in het aantal afgestudeerden van relevante opleidingen van 2016 t/m 2022. Hierin zijn twee trends te ontwaren: **studenten in Nederland kiezen steeds meer voor een opleiding in het hoger onderwijs en steeds meer voor een technische/STEM-studie**. Een mogelijke verklaring voor het laatste is dat de baankansen voor

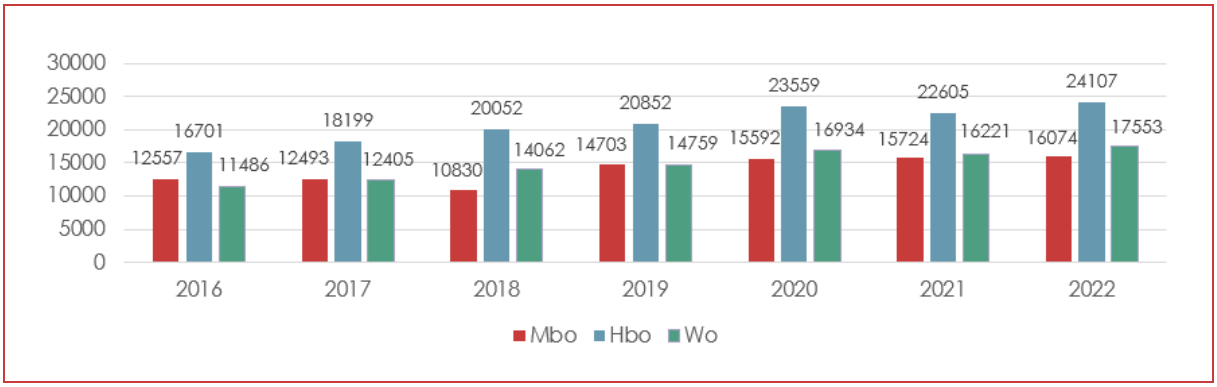
[71] Technopolis (2022). De arbeidsmarkt in de Nederlandse nucleaire sector. Bron: https://www.ensuringnuclearperformance.com/media/2rihrej5/technopolis-group-2022-de-arbeidsmarkt-in-de-nederlandse-nucleaire-sector-eindrapportage-kopie.pdf

[72] NOS (2022). Zorgen bij MBO Raad over afname mbo-studenten. Bron: https://nos.nl/artikel/2437257-zorgen-bij-mbo-raad-over-afname-mbo-studenten

[73] Qompas (2021). Switchen en uitval onder eerstejaars studenten op het mbo, hbo en wo. Bron: https://media.qompas.nl/media/3ubcxcno/switchen-en-uitval-onder-eerstejaars-2021.pdf

studenten met een STEM-opleiding relatief goed zijn waardoor dergelijke opleidingen aantrekkelijker worden voor studenten.[74] Daarnaast hebben organisaties zoals Techniekpact[75] en Platform Talent voor Technologie[76] zich ingezet om jongeren nadrukkelijker te enthousiasmeren voor een STEM-opleiding.

Figuur 25 Aantal afgestudeerden van relevante opleidingen op mbo, hbo en wo in de periode 2016-2022



Technopolis (2024), op basis van open data van DUO (2024).

De aantallen afgestudeerden aan relevante opleidingen verschilt sterk over Nederland, door de verspreiding van relevante opleidingen over ons land. Deze spreiding verschilt bovendien sterk per onderwijsvorm. Figuur 26 geeft het aantal afstudeerden aan relevante opleidingen op het mbo, hbo en wo weer per provincie in 2022. Hierin zijn de verschillen tussen de onderwijsvormen sterk zichtbaar. Zo zijn de afgestudeerde mbo-studenten redelijk verspreid over het land. Hbo- en wo-afgestudeerden aan relevante opleidingen zijn echter minder verspreid door Nederland: er zijn uitschieters in aantallen afgestudeerden in Zuid-Holland en Noord-Brabant.

Deze verdeling van afgestudeerden over Nederland is relevant, omdat de mobiliteit van afgestudeerden voor werk niet voor alle opleidingsvormen gelijk is. Mbo'ers blijken over het algemeen vrij sterk gebonden aan de regio waarin zij hun opleiding hebben gevolgd.[77] **Werknemers voor de kernenergiesector op mbo-niveau moeten dus veelal uit de regio van de organisatie worden geworven. Ook hbo'ers blijven veelal werken in de regio waar zij wonen en zijn opgeleid, alhoewel zij wel mobieler zijn dan mbo'ers. Wo'ers zijn over het algemeen het mobielst en vaak bereid om te verhuizen voor werk**. Hbo- en wo-opgeleiden zijn daarom gemakkelijker te werven vanuit andere regio's of zelfs het buitenland. Aangezien de organisaties in de kernenergiesector zeer verspreid zijn door het land, is de spreiding van met name de mbo-studenten gunstig. Desalniettemin wordt er op basis van het waarborgbeleid[78] voor de bouw van nieuwe kerncentrales met name gekeken naar Borssele en Terneuzen

[74] Techniekpact (2024). Stabilisering keuze voor techniek in het onderwijs; instroom lerarenopleidingen loopt verder terug. Bron: https://www.techniekpact.nl/nieuws/stabilisering-keuze-voor-techniek-in-het-onderwijs-instroom-lerarenopleidingen-loopt-verder-terug

[75] Zie ook: https://www.techniekpact.nl/

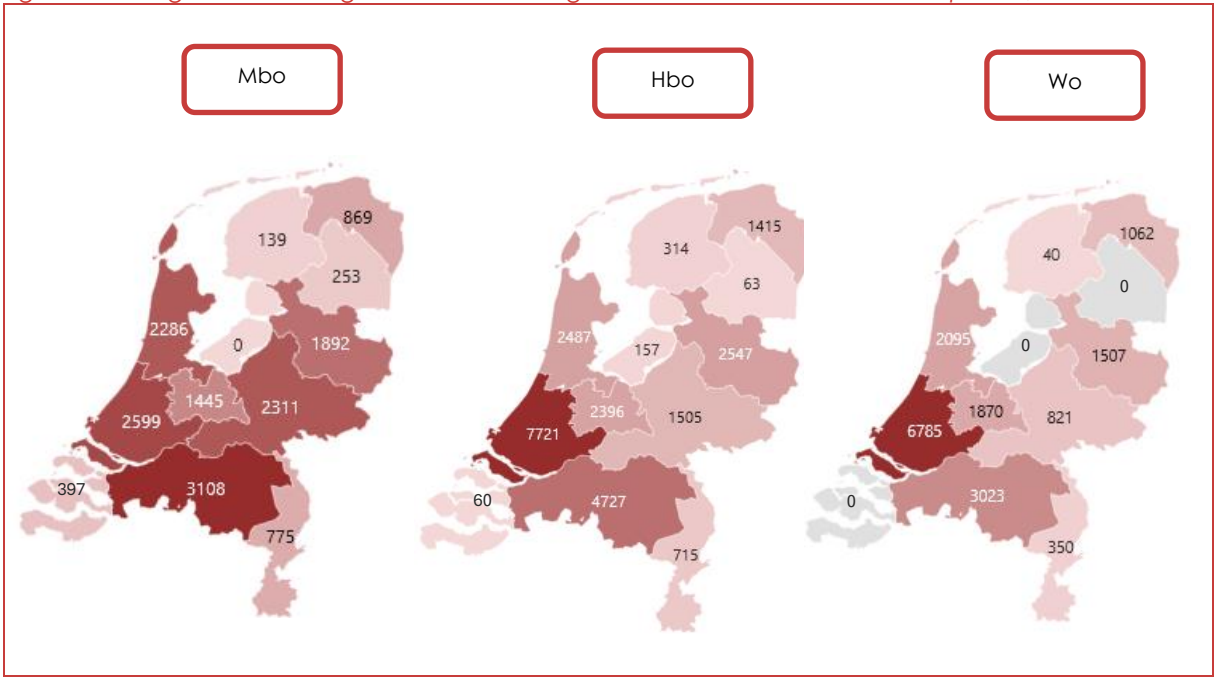
[76] Zie ook: https://www.ptvt.nl/

[77] Berenschot (2022). Analyse toekomstige vraag naar nucleaire kennis(werkers) in Nederland. Bron: https://www.berenschot.nl/media/dwznf311/rapport-analyse-toekomstige-vraag-naar-nucleaire-experts-in-nederland-002.pdf

[78] Het gaat om de (voorziene) waarborglocaties Sloegebied (Borssele), Maasvlakte I en II (Rotterdam) en het grondgebied van de gemeente Terneuzen. Zie: https://www.overkernenergie.nl/actueel/nieuws/2024/09/11/1.374-reacties-op-het-voornemen-en-voorstel-voor-participatie-venp-nu-gepubliceerd

(Zeeland) en Rotterdam (Zuid-Holland). Voor de bouw van deze kerncentrales zal er buiten de provinciegrenzen geworven moeten worden op alle niveaus omdat het regionale aanbod zeker niet afdoende zal zijn

Figuur 26 Geografische weergave van aantal afgestudeerde studenten in 2022 op mbo, hbo en wo



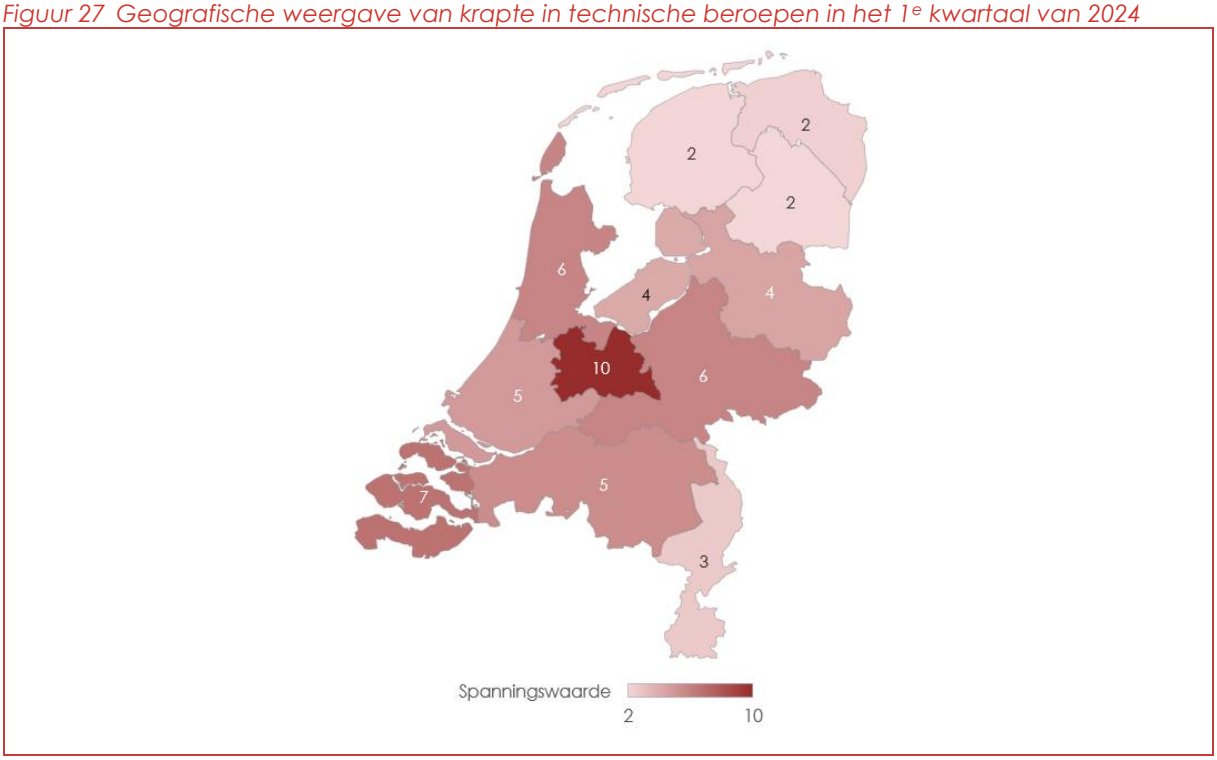
Technopolis (2024), op basis van open data van DUO (2024).

3.1.4 Concurrerende sectoren

De kernenergiesector concurreert op de arbeidsmarkt met diverse andere sectoren, voornamelijk voor technisch personeel. Dat komt o.a. doordat een overgroot deel van de vaardigheden die in de kernenergiesector worden gevraagd, ook in andere (technische) sectoren zeer gewild zijn. **Zo is er sterke concurrentie met de sectoren chemie, haven/scheepvaart, elektrotechniek en hightech en zijn er buiten kernenergie ook diverse andere ontwikkelingen gaande in de energiesector**.

De specifieke concurrentie verschilt per regio. Figuur 27 geeft de krapte in technische beroepen weer in het 1e kwartaal van 2024. **Over het algemeen wordt de arbeidsmarkt voor technische beroepen als zeer krap getypeerd.** Een manier om de krapte van de markt weer te geven is een spanningswaarde, het aantal openstaande vacatures gedeeld door het aantal kortdurend werkelozen. Als er veel openstaande vacatures zijn ten opzichte van het aantal werklozen is de arbeidsmarkt zeer krap. In geheel Nederland is de spanningswaarde 4,5 (een zeer krappe arbeidsmarkt). Dit is vergelijkbaar met de spanningswaarde rondom Rotterdam. Voor Zeeland is die waarde nog hoger, namelijk bijna 7. De krapte in technische beroepen is hier dus nog sterker.

Figuur 27 Geografische weergave van krapte in technische beroepen in het 1e kwartaal van 2024



Technopolis (2024) op basis van UWV (2024)[79]. Tussen 1,50 en 4,00 is een arbeidsmarkt krap en van 4,00 t/m 16,00 is die zeer krap.

Naast de regio verschilt de krapte ook per onderwijsvorm en per beroepsgroep. De arbeidsmarkt in Zeeland is zeer krap voor technisch personeel vanuit alle onderwijsvormen, maar met name bij hbo en wo-bachelors en -masters. De spanningswaarde voor mbo is 9 en voor hoger onderwijs zelfs 13. In Rotterdam geldt hetzelfde, met een spanningswaarde voor mbo van 5 en voor hbo en wo-bachelors en -masters 9. **Wat betreft beroepsgroepen zijn elektrotechnisch ingenieurs en machinemonteurs verreweg het schaarst** (beiden een maximale spanningswaarde van 16,00). **Ook bij productieleiders in de industrie en bouw, elektriciens en elektromonteurs en metaalbewerkers en constructiewerkers is de vraag hoog en het aanbod gering.** Dit geldt voor alle bovengenoemde regio's. **Ook in de bouw zijn er wervingsproblemen**. Zo konden werkgevers in 2023 voor bijna twee derde van de vacatures in de bouw moeilijk personeel vinden.[80]

De verwachte afname van het totale aantal mbo-studenten in de komende jaren zal de krappe arbeidsmarkt nog krapper maken en zal de concurrentie tussen sectoren versterken.[81] Hier zal op ingespeeld moeten worden. In interviews werd o.a. het Beethoven programma als voorbeeld genoemd, waarin investeringen beschikbaar zijn gesteld voor onder andere het opleiden van meer technici voor een specifieke sector (de Nederlandse chipindustrie), bijvoorbeeld door meer studenten te werven en meer mensen om en bij te scholen.[82] Een

[79] UWV (2024). Dashboard spanningsindicator. Bron: https://www.werk.nl/arbeidsmarktinformatie/dashboards/spanningsindicator

[80] UWV (2024). Ruim de helft van de vacatures nog moeilijk vervulbaar. Bron: https://www.uwv.nl/nl/nieuws/ruim-de-helft-van-de-vacatures-nog-moeilijk-vervulbaar

[81] Ministerie OCW (2024). Prognose aantal studenten mbo. Bron: https://www.ocwincijfers.nl/sectoren/middelbaar-beroepsonderwijs/studenten/prognose-aantal-studenten-mbo

[82] Rijksoverheid (2024). Nederland investeert € 2,5 miljard in sterk ondernemingsklimaat voor microchipsector Brainport Eindhoven. Bron: https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2024/03/28/nederland-investeert-25-miljard-euro-in-sterk-ondernemingsklimaat-voor-microchipsector-brainport-eindhoven

toename in het totale aantal technische studenten kan er toe leiden dat er ook meer personeel beschikbaar komt voor de kernenergiesector, maar het aantrekkelijker maken van andere technische beroepen kan tegelijkertijd ook het werven voor de kernenergiesector bemoeilijken.

3.1.5 Post-initiële en interne opleidingen

Er is vaak nucleaire basiskennis noodzakelijk voor de uitvoering van de functie, het verbeteren van de communicatie met collega's en vooral voor veiligheidsoverwegingen. Veel organisaties bieden post-initiële en interne opleidingen aan voor nieuw personeel. Dit kunnen bijvoorbeeld traineeships zijn of online cursussen zijn, waarin medewerkers leren over de nucleaire context en de bijbehorende veiligheids- en zorgvuldigheidseisen. Capaciteit hiervoor binnen de organisaties is echter beperkt. Ook bij nieuwe organisaties, zoals bij de nieuwe kerncentrales, is nog geen interne basis die een dergelijke opleiding kan bieden. Bij een aanzienlijke groei van het personeelbestand, kunnen deze methoden dan ook niet meer voldoen. Daarvoor zal er opleiding door externen moeten worden verzorgd – deze rol wordt doorgaans door de vendors opgepakt, eventueel in samenwerking met onderwijsinstellingen.

Het leren vindt ook '*on the job*' plaats. De capaciteit voor intern opleiden en *learning on the job* is echter beperkt. *Learning on the job* kan immers alleen effectief plaatsvinden als er genoeg ervaren medewerkers beschikbaar zijn om nieuwe werknemers te begeleiden en op te leiden. Aangezien het doorgaans zo'n twee jaar duurt om nieuw personeel volledig in te werken zal een snelgroeiende aanstroom van personeel leiden tot vertraging en gebrek aan kennis binnen de organisatie.[83]

Stralingsveiligheid: Ook **bij opleidingen op het gebied van stralingshygiëne en stralingsbescherming die extern worden verzorgd speelt deze beperkte capaciteit**. Er zijn grofweg drie opleidingsniveaus: Een toezichthoudend medewerker stralingsbescherming (TMS) is verantwoordelijk voor het toezicht op en de naleving van regels omtrent stralingsbescherming. Het volgende opleidingsniveau is een Coördinerend Deskundige (CD), die een specialistische rol op het gebied van stralingsbescherming heeft binnen een afdeling. Het hoogste niveau is een Algemeen Coördinerend Deskundige (ACD) die de verantwoordelijkheid heeft voor de coördinatie van stralingsbescherming op het niveau van de gehele organisatie.

De TMS-opleidingen worden verzorgd door 19 erkende opleidingsinstellingen, waaronder enkele bedrijven zoals NRG en diverse universiteiten en hogescholen,[84] en vinden het meest frequent plaats. De opleidingen voor CD en zeker voor ACD vinden een stuk minder vaak plaats en hebben ook minder capaciteit: zo wordt de opleiding voor ACD maar een keer in de vijf jaar verzorgd en kent zij een maximaal aantal deelnemers van rond de 25.

In interviews werden veelvuldig zorgen geuit over de omvang van het huidige aanbod van de stralingsbeschermingsopleidingen met name op het CD- en ACD-niveau. **Het huidige aanbod van opleidingen lijkt voor de huidige situatie al niet afdoende te zijn, laat staan dat er voldoende capaciteit is voor de verwachte aanzienlijke groei van de kernenergiesector**.

---

[83] Op basis van interviews.

[84] ANVS (2024). Register erkende opleidingsinstellingen stralingsbescherming Nederland. Bron: https://www.autoriteitnvs.nl/aanvragen-en-melden/registreren-en-erkennen/erkenning-van-opleidingsinstellingen-op-het-gebied-van-stralingsbescherming/erkende-opleidingsinstellingen-stralingsbescherming-nederland

3.2 Ontwikkelingen

3.2.1 Ontwikkelingen van het onderwijs- en trainingsaanbod in Nederland

Met name bij mbo en hbo staan de initiatieven voor nucleair onderwijs nog in de kinderschoenen, aangezien hier geen sterke vraag naar was. Door de recente ontwikkelingen is echter de verwachting dat de vraag naar personeel zeer sterk zal toenemen en wordt er sinds kort ook weer meer naar het initieel onderwijs gekeken om een rol te spelen in de opleiding van nieuw nucleair personeel. Eind 2023 is dan ook het MMIP Kernenergie gepubliceerd. Een onderdeel van het MMIP Kernenergie is de Human Capital Agenda die zich richt op de versterking van het onderwijs op alle niveaus om voldoende gekwalificeerd personeel op te leiden en aan te trekken. Onderstaande ontwikkelingen zijn onderdeel van de HCA van het MMIP Kernenergie.

Eind 2022 is met behulp van middelen voortkomend uit het amendement Erkens/Dassen de ***Nuclear Academy*** opgezet, een programma geïnitieerd door NRG en de TU Delft. De *Nuclear Academy* heeft als doel een zichzelf onderhoudend ecosysteem voor nucleair technologische opleidingen en trainingen te realiseren. Dit systeem moet de instroom van gekwalificeerd personeel voor de nucleaire sector bevorderen, en overheden van kennis voorzien, om zo de Nederlands nucleaire ambities te kunnen realiseren. De *Nuclear Academy* speelt een belangrijke rol in de ontwikkelingen op het mbo en hbo die hieronder uitgewerkt staan, onder andere door onderwijsmodules te ontwikkelen en opleidingsmanagers en docenten kennis te laten maken en te enthousiasmeren voor nucleair onderwijs. Daarnaast is een nucleaire module ontwikkeld voor beleidsambtenaren en een cursus kerntechniek met meer specifieke nucleair-technologische kennis voor RIVM en de ANVS.

Mbo: Binnen het middelbaar beroepsonderwijs wordt de mogelijke **ontwikkeling van een aantal zogenoemde practoraten** door de overheid verkend.[85] Dit zijn expertiseplatforms binnen een mbo-instelling waar praktijk(gericht) onderzoek wordt uitgevoerd, met als doel het verspreiden van kennis en innovatie en het opleiden van – in dit geval – technici. **Er zijn op dit moment echter weinig mensen met de benodigde expertise en ervaring voor de rol van practor**. Om deze kennis extern te vergaren en om het contact tussen de nucleaire sector en het mbo-onderwijs te verstevigen, hebben bedrijven en mbo-instellingen[86] in 2024 een intentieverklaring ondertekend[87]. Hierin komen zij overeen om het mbo-onderwijs op het gebied van nucleaire technologie en samenwerking te stimuleren. Hieruit volgde **de ontwikkeling van het keuzedeel Nucleaire technologie (K1404). Het keuzedeel zal in september 2024 voor het eerst onderwezen worden aan Scalda**, en biedt een introductie in kennis en vaardigheden op het gebied van nucleaire technologie. De verwachting is dat zo'n 10 tot 15 studenten per jaar zullen kiezen voor dit keuzedeel.

Hbo: in nauwe samenwerking met regieorgaan SIA wordt een praktijkgericht onderzoeksprogramma opgezet voor en door hogescholen. Daarnaast werken verschillende hbo-instellingen samen aan een plan waarin relevante aspecten voor de kernenergiesector, zoals werken met hoge veiligheids- en kwaliteitseisen ('ultrakwaliteit'), worden meegenomen in bestaande opleidingen. Ook worden er afspraken gemaakt **tussen Hogeschool Zeeland en**

[85] Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2023). Voortgang ontwikkelingen nucleaire kennis- en innovatiestructuur. Bron: https://open.overheid.nl/documenten/86ac6175-d9b6-4b52-8f5d-1dc393ea4c60/file

[86] Het gaat hierbij om NRG|PALLAS, TU Delft, Scalda, Horizon College/Regio College, Vonk, ROC van Twente, COVRA, EPZ en Urenco.

[87] Zie: https://www.nucleairnederland.nl/nl/nieuwsbericht/ondertekening-van-intentieverklaring-samenwerking-mbo-onderwijs-en-nucleaire-sector-2/

***Nuclear Academy* over een nieuwe minor vanaf 2025**. Het doel hiervan zal vooral zijn om studenten bekend te laten raken met de kernenergiesector.

Wo: In 2023 zijn **middelen ter beschikking gesteld voor het creëren van zes nieuwe PhD-posities en het instellen van drie nieuwe leerstoelen aan de TU Delft**[88]. Deze leerstoelen en PhD-posities richten zich op de deelgebieden (o.a. nucleaire technologie en materiaalonderzoek) die essentieel zijn voor de ontwikkeling en bouw van kerncentrales. Ze hebben tot doel om wetenschappelijk onderzoek en onderwijs in die gebieden te stimuleren. De verwachting is dat het uitbreiden van de onderzoekscapaciteit op het gebied van kernenergie op termijn ook zal kunnen bijdragen aan het onderwijs.

Bedrijven en overheidsorganisaties: Ook bij enkele andere organisaties zijn er ontwikkelingen gaande wat betreft het aanbod van opleidingen. Binnen de ANVS wordt in 2025 bijvoorbeeld een tweejarig traineeship opgestart, om nieuwe medewerkers kennis te laten met de breedte van het nucleaire veld. Ook biedt die organisatie de ANVS Academy aan, een leerportaal waar met name beleidsmedewerkers maar ook kennisinstituten zoals het RIVM toegang tot het hele nucleaire ontwikkelaanbod van de ANVS kunnen krijgen. Dit zal worden aangevuld met werkbezoeken en excursies. Ook bedrijven zijn bezig met de ontwikkeling van nieuwe onderwijsmethoden. Zo worden steeds meer operators opgeleid met simulators en *virtual reality* voor het ontwikkelen van werkscenario's.

3.2.2 Drijfveren en barrières voor ontwikkeling aanbod

Voor onderwijsinstellingen is het momenteel niet vanzelfsprekend om onderwijs over kernenergie te ontwikkelen. Met name op het mbo en hbo wordt het curriculum afgestemd op de behoeftes van de arbeidsmarkt, vaak aan de hand van een expliciete vraag. De ontwikkelingen rond kernenergie duiden weliswaar wel degelijk op een sterk toenemende toekomstige maatschappelijke behoefte, maar de expliciete vraag naar medewerkers is op dit moment feitelijk nog niet prominent aanwezig. Tegelijkertijd zijn er ook diverse andere (concurrerende) maatschappelijke behoeftes, zo is er bijvoorbeeld ook voor de chipsector, kwantummechanica en andere vormen van alternatieve energiebronnen technisch personeel nodig. Er wordt dan ook veel van onderwijsinstellingen gevraagd qua ontwikkeling van het curriculum. Aangezien mbo en hbo-instellingen gefinancierd worden per student, vereist het opzetten van een nieuwe opleiding een behoorlijke investering terwijl het op dit moment niet duidelijk is voor de instellingen of er ook werkelijk genoeg interesse vanuit studenten zal zijn. Deze **onzekerheid op de lange termijn maakt het ingewikkeld om nu risico te nemen om een nieuwe opleiding op te zetten**.

De interesse vanuit studenten speelt een essentiële rol in het opzetten van onderwijs in het hbo en mbo. Opleidingen zoals technische natuurkunde, werktuigbouwkunde en elektrotechniek zijn dure opleidingen met over het algemeen lage studentenaantallen, waardoor deze opleidingen al onder druk staan. Hoewel de banenkansen erg goed zijn bij deze opleidingen, worden studiekeuzes vaak gemaakt op basis van persoonlijke interesses, de betrokkenheid van docenten en de sfeer bij een opleiding.[89] Onderwijsinstellingen merken op dit moment nog weinig vraag naar nucleair onderwijs vanuit de studenten, wat weer samenhangt met het feit dat de grote vraag naar nucleair personeel op dit moment nog niet werkelijk bestaat. Daarom

[88] Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2023). Voortgang ontwikkelingen nucleaire kennis- en innovatiestructuur. Bron: https://open.overheid.nl/documenten/86ac6175-d9b6-4b52-8f5d-1dc393ea4c60/file

[89] Markteffect (2024). De belangrijkste keuzefactoren van de nieuwe generatie studiekiezers. Bron: https://markteffect.nl/nieuws/285/de-belangrijkste-keuzefactoren-van-de-nieuwe-generatie-studiekiezers

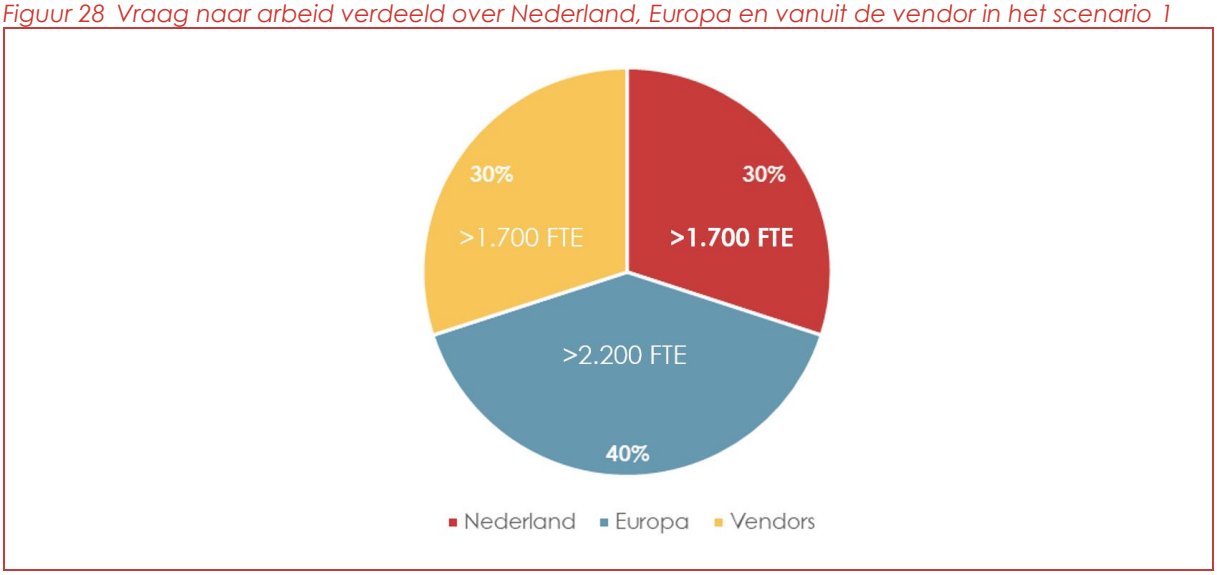
lijken er op dit moment nog (te) weinig drijfveren voor onderwijsinstellingen om nucleair onderwijs aan te bieden.

3.2.3 *Ontwikkeling van het aanbod uit het buitenland*

Ervaren werknemers uit het buitenland werven wordt momenteel vooral voor gespecialiseerde en hoogopgeleide functies gedaan.[90] Zo werft EPZ nu actiever in Vlaanderen, gezien de nabijheid en overeenkomst in taal. In België zijn weliswaar ook nucleaire organisaties actief, maar deze zijn kunnen minder aantrekkelijk zijn voor nucleaire specialisten vanwege een gebrek aan langetermijnperspectief daar op dit moment.

Tijdens de constructiefase is er echter waarschijnlijk een grote behoefte aan personeel dat praktischer en generalistisch technisch geschoold is, maar nog steeds nucleair-bewust is. Aangezien dit een groot aantal werknemers betreft, verwachten de meeste partijen dat tenminste een deel van dit personeel (tijdelijk) uit het buitenland zal moeten komen, bijvoorbeeld vanuit een buitenlandse *vendor*. Op basis van de ervaringen rond de bouw van andere kerncentrales in Europa wordt in interviews aangegeven dat **personeel voor ongeveer 30% door de buitenlandse *vendor* wordt aangeleverd, 40% uit de rest van Europa komt en 30% uit Nederland wordt geworven** (zie Figuur 28). Hoewel Nederland veel werktuigbouwkundige, civieltechnische, bouwkundige en elektrotechnische ingenieurs kent, zijn zij nog niet bekend met kernreactoren. Om de bouw en implementatie te bevorderen is er daarom personeel uit het buitenland nodig. In scenario 1 gaat dat al om meer dan 2.200 FTE.

Figuur 28 Vraag naar arbeid verdeeld over Nederland, Europa en vanuit de vendor in het scenario 1



Technopolis (2024)

In het recente regeerprogramma wordt ingezet op beperking van kennis- en arbeidsmigratie. Zo worden de kwalificatie-eisen van de kennismigrantenregeling aangescherpt, en worden arbeidsmigranten van buiten de EU tewerkstellingsvergunningplichtig.[91] Ook komt er een

[90] Technopolis (2022). De arbeidsmarkt in de Nederlandse nucleaire sector. Bron: https://www.ensuringnuclearperformance.com/media/2rihrej5/technopolis-group-2022-de-arbeidsmarkt-in-de-nederlandse-nucleaire-sector-eindrapportage-kopie.pdf

[91] Coalitieakkoord (2024). HOOP, LEF EN TROTS. Bron: https://files.tweedekamer.nl/sites/default/files/2024-05/20240515%202024D19455%20-%20Coalitieakkoord%202024-2028%20HOOP%2C%20LEF%20EN%20TROTS%20%283%29.pdf

afwegingskader voor de vestiging van nieuwe bedrijven, in relatie tot de benodigde arbeidsmigranten, ruimte en energie. De implementatie van dit beleid is nog niet duidelijk, maar beperkingen om personeel uit het buitenland te halen kunnen leiden tot knelpunten in de bouwfase.

3.3 Verwachtingen voor de toekomst

3.3.1 Verwachtingen op basis van huidig aanbod en ontwikkelingen

Het is **onduidelijk welke ontwikkelingen zullen plaatsvinden op het gebied van kernenergie in het onderwijs**. Zoals eerder aangegeven ontbreekt, ondanks alle verwachtingen en voornemens, momenteel nog de concrete vraag naar opgeleid personeel die onderwijsinstellingen nodig hebben om te (durven) bewegen. Wel hebben mbo- en hbo-instellingen aangegeven constructief mee te willen denken over de rol die zij in kunnen nemen in het vervullen van de maatschappelijke behoefte.

Voor heel Nederland is de verwachting dat de komende tien jaar **het aantal studenten op het mbo en hbo afneemt, wat de krapte op de technische arbeidsmarkt zal vergroten**. Hoewel steeds meer studenten kiezen voor de techniek, zal de instroom bij technische opleidingen door de demografische ontwikkeling in Nederland afnemen.[92] Voor technisch talent zal de kernenergiesector daardoor in toenemende mate afhankelijk zijn van zij-instromers (mensen uit andere sectoren die zich laten bij- of omscholen) of van buitenlandse technici.

Mogelijk kan personeel ook vanuit andere sectoren en landen zij-instromen, zowel door niet-technisch geschoold personeel in de techniek te laten instromen als door personeel uit andere technische sectoren aan te trekken. In dat verband noemt de IAEA personeel van fossiele energiecentrales, chemische/procesindustrie en de olie- en gasindustrie.[93] Zij hebben ervaring met veiligheid, regelgeving en technische kennis die nuttig is voor de kernenergiesector. Daarnaast kan personeel vanuit andere landen mogelijk ook in de Nederlandse kernenergiesector instromen. In Duitsland, Zwitserland en België is kernenergie in afbouw. Aangezien nucleair personeel over het algemeen lang trouw is aan het werk in de kernenergiesector, is het mogelijk dat werknemers naar Nederland verhuizen om hier te werken.

3.3.2 Inspiratie uit het buitenland

Nederland is niet het enige land dat kampt met de uitdagingen van voldoende aanbod. Toen in 2016 de bouw van Hinkley Point C begon was het Verenigd Koninkrijk nog lid van de EU, waardoor het gemakkelijker was om personeel uit andere landen aan te trekken. Gedurende de bouw vond de Brexit echter plaats, waardoor ze afhankelijker waren van personeel binnen het VK en ze zich sterk hebben gericht op het opleiden van Britten. Ook Frankrijk heeft zich sterk beziggehouden met het opzetten van opleidingen en trainingen, gezien hun koploperspositie. Om die te behouden was er in korte tijd behoefte aan veel kennis en expertise op het gebied van kernenergie. Daarom kijken we voor inspiratie uit het buitenland specifiek naar Hinkley Point C in het Verenigd Koninkrijk en naar Flamanville in Frankrijk.

---

[92] NOS (2022). Zorgen bij MBO Raad over afname mbo-studenten. Bron: https://nos.nl/artikel/2437257-zorgen-bij-mbo-raad-over-afname-mbo-studenten

[93] Paganonne, B. (2012). Workforce Planning for Nuclear Power Programmes. Presentatie van de IAEA voor de 5th Nuclear Energy Management School in Trieste op 20 November 2012.

3.3.2.1 Het Verenigd Koninkrijk

Binnen het Verenigd Koninkrijk is er een speciaal opleidingsprogramma[94] opgezet wat zich richt op verschillende groepen en leeftijden. Zo bieden zij aan[95]:

- **Introductieprogramma's**: dit betreft een éénjarig programma dat is ontworpen om nieuwe medewerkers in te bedden in het bedrijf.
- **Stages en traineeships**: Er zijn in totaal 70 verschillende stages beschikbaar, van lassen en nucleaire techniek tot financiën en catering. Zo zijn er bijvoorbeeld beroepsstages van zes weken, een trainingsprogramma voor constructietechniek en machinebouw, en een afstudeerprogramma om tot een soepele overgang van de universiteit naar de praktijk van de kerncentrale te leiden. In totaal hebben meer dan 1.300 mensen stage gelopen bij EDF/Hinkley Point C. Deze zijn beschikbaar vanaf 16+. Ook is er een speciaal programma voor reactorbeheerders, bestaande uit een tweejarige opleiding om trainees de kennis en expertise te geven die nodig is voor een nucleaire reactor.
- **Centers of Excellence (CoE's):** er zijn drie CoE's ontwikkeld als onderdeel van een pakket van investeringen in het onderwijs (£24 miljoen). Deze centra richten zich op lassen, elektrotechniek en constructie. Zij bieden trainingen aan en de mogelijkheid om te oefenen in een nucleaire omgeving. Tot 2024 zijn hier in totaal 8.000 mensen opgeleid.
- **Werkgelegenheidsevenementen**: in 2023 zijn er 95 van dit soort evenementen gehouden, waarbij EDF samenwerkt met de lokale overheid om vooral lokaal personeel aan te trekken. Bij deze evenementen zijn zo'n 6.000 mensen aanwezig geweest. Dat heeft bijgedragen aan het aantal aanmeldingen bij het Job Portaal van Hinkley Point C: zo'n 10.000 lokale bewoners hebben zich hiervoor aangemeld en zij krijgen vacaturemeldingen 48 uur voordat deze breed openbaar worden. Dit moet de betrokkenheid van de lokale bevolking bij het project bevorderen.
- **Young HPC**: EDF/Hinkley Point C legt de nadruk op het aantrekken van jong personeel voor de bouw. Zo is er een gratis programma opgezet voor 16- tot 21-jarigen waar zij zich kunnen aanmelden als ze geïnteresseerd zijn in de bouw en in Hinkley Point C, maar nog op school zitten en geen specifiek idee hebben van wat er in dat verband mogelijk is. Na die aanmelding worden ze op de hoogte gehouden van banen, en zou het sneller mogelijk zijn om een sleutelpositie te krijgen. Daarnaast biedt EDF/Hinkley Point C voor 18- tot 24-jarigen met speciale behoeftes een 13-weken durend programma aan om hen gereed te maken voor het werk en een plek in het project.

Om overzicht te behouden van de actuele behoefte aan opleidingsprogramma's, verzamelt EDF/Hinkley Point C elke 18 tot 24 maanden data over de rollen, niveaus, leeftijd, stagiaires, in- en uitstroom in de kernenergiesector. Zo kunnen ze bijvoorbeeld meer stageplekken openen voor een beroepsgroep als ze zien dat daar een grotere vraag naar is of gaat komen.

3.3.2.2 Frankrijk

Ook Frankrijk was genoodzaakt om zelf een trainingsprogramma op te zetten. Hierdoor bestrijkt het Franse nucleaire onderwijssysteem nu het volledige spectrum van beroepen dat nodig is voor de ontwikkeling en operatie van kerncentrales: technici voor bediening, stralingsbescherming, veiligheid, managers en professoren/docenten om de kennis over te dragen. **In Frankrijk ligt de nadruk meer op initieel onderwijs dan in Engeland**. Vóór 2006

[94] Voor meer informatie, zie: https://www.edfenergy.com/energy/nuclear-new-build-projects/hinkley-point-c/for-teachers-students-and-educators

[95] Hinkley Point C (2024). Socio-Economic Impact Report 2024. Bron: https://www.edfenergy.com/sites/default/files/hinkley_point_cs_socio-economic_impact_report_2022.pdf

bedroeg het aantal afgestudeerde studenten op ingenieurs- of masterniveau niet meer dan ongeveer 300 per jaar, terwijl er gezien de groei van het aantal kerncentrales behoefte was aan aanzienlijk meer.[96] Daarom heeft de Franse overheid in 2011 besloten om de Nucleaire Sector Strategische Commissie (CSFN) op te zetten om te bekijken wat de toekomstige behoeftes waren aan personeel en hun benodigde vaardigheden. Ook lanceerde de Franse regering een initiatief dat tot doel had nucleaire opleidingen aanzienlijk uit te breiden om tegemoet te komen aan de (verwachte) behoeften van de nucleaire industrie. Een belangrijk onderdeel hiervan is het concept van een 'nucleair paspoort'. Door nucleaire lesmodules in technische brede opleidingen aan te bieden, verkrijgen studenten fundamentele kennis over kernenergie. Onderwerpen zoals de werking van een kerncentrale, nucleaire veiligheid en radioactiviteit worden hierbij behandeld, zodat werknemers een goed begrip krijgen van wat kernenergie inhoudt. Deze basiskennis biedt de studenten een 'nucleair paspoort' om tot genuclearisseerd personeel te worden opgeleid.

Naast dit basisniveau werkte Frankrijk ook aan gespecialiseerde opleidingen binnen de kernenergiesector om tot nucleair personeel op te leiden, een zogenaamd 'nucleair paspoort plus'. Een samenwerking tussen vertegenwoordigers van de nucleaire industrie, Franse universiteiten en de overheidsinstanties leidde tot het opstellen van nieuwe curricula en daardoor tot een sterke verhoging van het aantal afgestudeerden in *nucleair engineering* of nauw verwante opleidingen. Er zijn ook soortgelijke acties ondernomen om hooggekwalificeerde technici voor de nucleaire industrie op te leiden.

Deze nucleaire onderwijsprogramma's worden beoordeeld met betrekking tot de behoeften van de industrie en geaccrediteerd door het ***International Institute of Nuclear Energy* (I2EN)**. Dit instituut vertegenwoordigt en coördineert de Franse nucleaire industrie, R&D en academische wereld in het buitenland. Ze **bieden hun opleidingen actief aan in het buitenland en helpen landen die een nieuw nucleair programma opzetten met het inrichten van onderwijs en curricula**, waaronder ook deels onderwijs of stages in Frankrijk kunnen vallen.

Net als het VK is ook Frankrijk actief bezig aan een overzicht van de actuele behoefte aan en het aanbod van opleidingsprogramma's. Zo onderneemt het I2EN een jaarlijkse enquête onder onderwijsinstellingen om een beeld te krijgen van nucleaire curricula. Zij hebben 80 Franse masteropleidingen en 47 overige opleidingen (van middelbare school tot bacheloropleidingen) geïdentificeerd. Er is een overzicht gemaakt van de spelers en welke sterke punten zij hebben, zodat bedrijven die op zoek zijn naar een bepaald type personeel weten voor welk beroepsprofiel zij bij welke onderwijsinstelling terecht kunnen.

[96] I2EN (2018). French Nuclear Education and Training. Bron: https://i2en.fr/wp-content/uploads/2018/09/BROCHURE2018_I2EN_compressed-1.pdf

4 Afstemmen vraag en aanbod

De vorige hoofstukken presenteerden de inzichten over vraag en aanbod van human capital op basis van beschikbare bronnen: cijfers uit de literatuur en informatie uit interviews en workshops. In dit hoofdstuk bouwen we daar op voort en maken we modelmatig meer specifieke inschattingen voor de vraag op basis van aannames – daarmee geven we enerzijds meer inzicht, maar introduceren we ook meer onzekerheden. Deze specifiekere vraag zetten we uit tegen de belangrijkste kwalitatieve inzichten uit de aanbodkant. Daarmee pogen we in deze fase een beter inzicht te geven in de match tussen vraag en aanbod op de toekomstige arbeidsmarkt voor de kernenergiesector.

4.1 Inschattingen van de vraag naar human capital over tijd

Op basis van hoofdstuk 2 kunnen we een grove inschatting maken van de vraag naar human capital voor kernenergie in Nederland over de tijd. **Die inschatting kent veel onzekerheden en moet gezien worden als een eerste vertrekpunt voor beleid.** De aankomende jaren zal er meer informatie beschikbaar komen die het mogelijk maakt om deze inschatting bij te werken en te verbeteren. Voor de huidige inschatting moeten we diverse aannames maken en informatie uit verschillende bronnen combineren. Omdat deze inschattingen lastig te maken zijn en met onzekerheden zijn omgeven, werken we deze alleen uit voor één scenario. We hanteren hiervoor scenario 2, omdat deze gebaseerd is op het huidige beleid van Kabinet Schoof. Dit betekent dat een eventuele rol van SMR 's niet in deze analyse is meegenomen. Met het programma SMR's verkent het kabinet de mogelijkheden om op termijn ook SMR's te realiseren in Nederland. Het kabinet werkt toe naar een nationale visie op SMR's medio 2025 in overleg met medeoverheden. Deze visie kan aanleiding geven om de analyse in dit hoofdstuk te verfijnen.

Voor het maken van de grove inschatting van de vraag naar human capital, gebruiken we Figuur 14, welke gebaseerd is op modeldata voor Hinkley Point C. Uit dit figuur valt niet het totale aantal unieke personen af te leiden die betrokken zijn bij de bouw. Voor Sizewell C (3.200 MWe), vergelijkbaar aan Hinkley Point C, claimt EDF dat tijdens de gehele periode van start bouw tot ingebruikname van de kerncentrale zo'n 25.000 mensen betrokken zijn.[97] Omdat hierbij twee units worden gebouwd, gaan we voorscenario 2 uit van 50.000 mensen bij de bouw tot in gebruik name van vier kerncentrales.[98] Afhankelijk van de planning van de bouw van deze kerncentrales kan in de praktijk het aantal mensen door efficiëntie zo'n 35% lager uitvallen[99]. Omdat die efficiëntie beperkt lijkt bij een tussenliggende periode van vijf jaar, zoals in scenario 2 voor deze studie, gaan we daar in deze schatting niet vanuit. We projecteren deze 50.000 mensen op het profiel van Figuur 14, om zo een grove inschatting te krijgen van het aantal unieke mensen dat mogelijk werkzaam is tijdens deze periode. De resultaten van deze inschatting zullen dus waarschijnlijk een bovengrens geven van het aantal unieke mensen werkzaam tijdens een slim en efficiënt geplande bouwfase.

Het resultaat van deze projectie staat in Figuur 29: het aantal FTE dat naar voornoemde schatting werkzaam zal zijn in de kernenergiesector gedurende de tijdsperiode van scenario

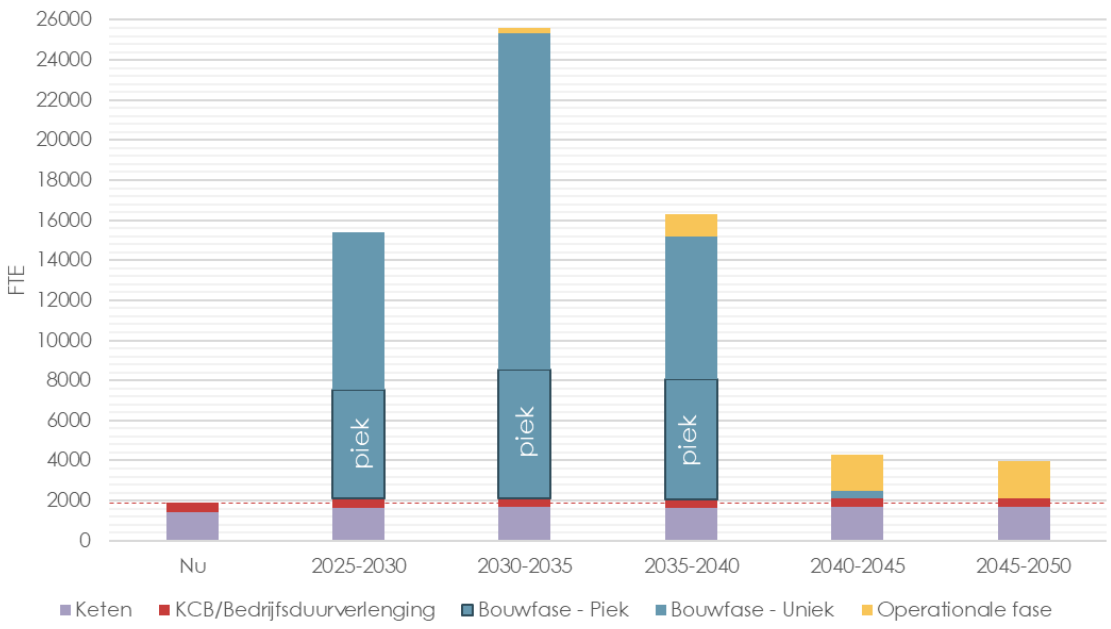
[97] Dat komt dichtbij de geschatte 24.473 (directe en indirecte) banen bij de bouw van een PWR-12 kerncentrale in de VS (1.147 MWe) die de OECD-NEA noemt in haar publicatie uit 2018 over "*Measuring Employment Generated by the Nuclear Power Sector*".

[98] In dezelfde publicatie als genoemd in voetnoot 97, spreekt de OECD-NEA van 10,25-12,1 directe banen per MWe voor de bouw van een kerncentrale. Met deze getallen is er voor de bouw van een kerncentrale van 4-5 GWe een vergelijkbaar aantal directe banen (en dus mensen) nodig.

[99] Gebaseerd op interviews met *vendors*.

2. Dit is een uitbreiding van Figuur 20, omdat we nu ook het geschatte aantal *unieke* medewerkers (in FTE) hebben meegenomen in plaats van het aantal medewerkers tijdens de *pieken* van de bouw.[100] Daarmee introduceren we meer onzekerheid in de getallen, maar krijgen we wel meer beeld bij het unieke aantal banen dat tijdens de bouwfase ontstaat. Het figuur laat zien dat het geschatte aantal unieke medewerkers tijdens de bouwfase veel hoger is dan het aantal medewerkers dat tegelijkertijd op piekperiodes werkzaam is. Het is echter niet bekend in hoeverre dit meerjarige/duurzame banen zijn: een deel zal voor tijdelijke werkzaamheden ingebracht worden door onderaannemers – deze groep kan uit de markt gehaald worden na een korte (veiligheids)cursus or certificering. De onzekerheid zit in de bouwfase: het aantal medewerkers na de bouwfase blijft gelijk met de inschattingen in Figuur 20 in hoofdstuk 2.

Figuur 29 Inschatting van het aantal FTE werkzaam in de kernenergiesector in scenario 2 met projectie van geschatte unieke aantal medewerkers tijdens de bouwfase



Technopolis (2024)

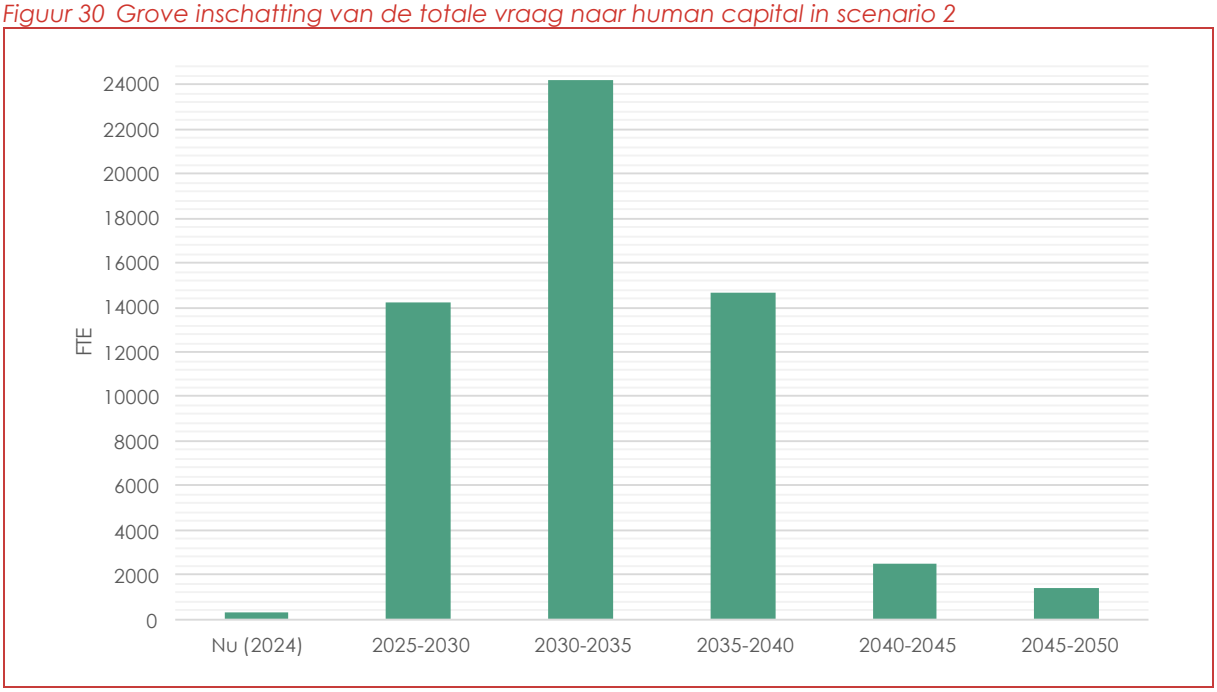
Om de vraag naar nieuwe medewerkers in de kernenergiesector te schatten, moeten we het aantal nieuwe mensen dat nodig is voor de kernenergiesector per periode beschouwen. Dat zullen er minder zijn dan het aantal medewerkers dat tijdens de bouwfase werkzaam is (zoals in Figuur 29). Die vraag kunnen we alleen inschatten door een aantal grove aannames te doen:

[100] Figuur 20 geeft aan hoeveel mensen er maximaal tegelijkertijd op piekmomenten in de tijd werkzaam zijn aan de realisatie van nieuwe kerncentrales. Zo'n piek is een momentopname. Het is niet duidelijk of voor of na die piek andere mensen werkzaam zijn dan tijdens de piek. Het totale aantal mensen werkzaam voor en na de piek is lager, maar dat kunnen wel andere personen zijn, omdat bijvoorbeeld andersoortige werkzaamheden uitgevoerd moeten worden die om andere vaardigheden vragen. Door nu unieke mensen in te schatten, proberen we een realistischer beeld te krijgen van het aantal betrokken personen bij de bouw om zo een realistischere vraag te kunnen bepalen. Het kan echter zijn dat die unieke personen niet allemaal langdurig bij de bouw betrokken zullen zijn. Het beeld is realistischer dan het sommeren van het aantal personen over de gehele realisatieperiode in Figuur 14, omdat daarmee mensen dubbel geteld zullen worden en dus ook niet unieke personen betreffen.

- We gaan ervanuit dat de jaarlijkse vervangingsvraag in de kernenergiesector (zie sectie 2.2.3) ongeveer gelijk zal blijven (~7%) en vergrijzing omvat, omdat er ook de afgelopen jaren al sprake was van vergrijzing in de sector en deze vervangingsvraag groter is dan de verwachte vergrijzing.
- We gaan ervanuit dat de opgehaalde groeiverwachtingen van de huidige organisaties in de kernenergiesector daadwerkelijk wordt gerealiseerd.
- We gaan ervanuit dat de unieke mensen voor de bouwfase uit de projectie in Figuur 29 allemaal geworven, ingehuurd of door de *vendor* geleverd moeten worden (en dus additioneel zijn op de mensen die nu al in de kernenergiesector werken).
- We gaan ervanuit dat er voor de operatie van nieuwe kerncentrales al tijdens de bouwfase een team wordt opgebouwd die ook daadwerkelijk de kerncentrales voor de langere termijn zullen bedienen – dat wil zeggen dat we niet aannemen dat de *vendor* hiervoor tijdelijk mensen levert die binnen de scenarioperiode weer vervangen moeten worden voor vast personeel.

Op basis van deze aannames, is onze grove schatting dat de totale vraag naar nieuwe mensen voor de kernenergiesector op het piekmoment in de periode 2030-2035 op zo'n 23-24 duizend FTE uitkomt (zie Figuur 30). Dit zijn mensen die geworven moeten worden in die periode, uit de (internationale) markt of bij de *vendor*. De toename van deze vraag groeit sterk vanaf 2025 en neemt sterk af na 2040, wanneer alle vier kerncentrales operationeel zouden moeten zijn in scenario 2. Dat komt doordat er in de operationele fase minder mensen werkzaam zullen zijn in de kernenergiesector dan tijdens de bouwfase. Vanaf 2040 zou de totale vraag in deze schatting stabiliseren naar zo'n 85 FTE/jaar, wat lager is dan het huidige aantal vacatures in de kernenergiesector (zie sectie 2.1.2) – die momenteel een groeifase doormaakt, terwijl de kernenergiesector na 2040 juist krimpt (maar wel groter is dan nu). Omdat dit nog zeer ver in de toekomst ligt, is hier de onzekerheid groot: ontwikkelingen in de kernenergiesector die niet voorzien zijn in deze scenario's kunnen de toekomstige vraag doen toe- of afnemen.

Figuur 30 Grove inschatting van de totale vraag naar human capital in scenario 2



Technopolis (2024)

Om een verdere inkleuring te geven van deze vraag voor de acties voor de HCA Kernenergie, hebben we deze totale geschatte vraag onderverdeeld in verschillende aspecten:

- **Soort/fase**: het aantal medewerkers door vervanging, de huidige kernenergiesector ('keten') en in de bouw- en operationele fase. Dit is gebaseerd op Figuur 30 en voornoemde aannames (o.a. een vervangingsvraag van ~7%).
- **Herkomst**: het aantal mensen uit Nederland, buitenland of geleverd door de *vendor*. Hierbij gaan we uit van de statistieken in sectie 3.2.3: tijdens de bouwfase komt 30% van het personeel uit het binnenland, 40% uit het buitenland en de rest van de *vendor*. Voor de operationele fase en de huidige keten schatten we dat 90% uit Nederland afkomstig zal zijn, omdat het om arbeidskrachten voor de lange termijn gaat en er vooralsnog beperkt uit het buitenland geworven wordt voor de huidige kernenergiesector (al zien we hierin verandering komen).
- **Domein**: het aantal mensen dat technisch (STEM) of anderszins opgeleid moet zijn. Hierbij gaan we uit van de statistieken in sectie 2.1.1: in de huidige kernenergiesector (en waarschijnlijk ook in de operationele fase) is zo'n 75% STEM-opgeleid. Uit Figuur 13 volgt dat tijdens de realisatie van nieuwe kerncentrales eveneens gemiddeld zo'n 75% STEM-opgeleid zal zijn.
- **Kennis**: het aantal mensen per segment van de nucleaire piramide en dus hun mate van nucleaire kennis. Daarbij gaan we uit van de verdeling zoals in Figuur 2 voor de huidige kernenergiesector en de verdelingen in Figuur 15 en Figuur 17 voor resp. de bouwfase en operationele fase van nieuwe kerncentrales.
- **Opleiding**: het geschatte aantal medewerkers per opleidingsniveau. Hierbij gaan we uit van de statistieken in secties 2.1.1 en 2.3.2: 75% van het personeel in de bouwfase is mbo-opgeleid, 70% van het personeel in de operationele fase is mbo-opgeleid, en 45% in de huidige kernenergiesector is mbo-opgeleid (we nemen aan dat dit ook zal gelden voor de vervangingsvraag).

Het resultaat van deze grove inschattingen is weergeven in Tabel 2. Hierin staat het aantal FTE dat geworven moet worden en dus de vraag in een bepaalde periode bepaalt. De getallen in deze tabel zijn indicatief en met onzekerheid omgeven, maar geven wel een eerste beeld van de omvang van de specifieke vraag waaraan gedacht moet worden in scenario 2. De vraag hoeft echter niet alleen met scholing en werving ingevuld te worden, die kan ook deels verkregen worden door de *vendor* en andere (onder)aannemers tijdens de realisatie van nieuwe kerncentrales. Hoeveel is echter op dit moment niet vast te stellen.

Tabel 2 Grove schattingen van specifieke vraag in scenario 2 ter indicatie van de vraag

Aspecten		**Nu (2024)**	**2025-2030**	**2030-2035**	**2035-2040**	**2040-2045**	**2045-2050**
Fases in scenario 2		**Voorbereiding**	**Realisatie 2+2 Generatie-III+-kerncentrales**			**Operatie 5 kerncentrales**[101]	
Totale geschatte vraag		**~310 FTE**	**~14.250 FTE**	**~24.230 FTE**	**~14.660 FTE**	**~2.530 FTE**	**~1.400** FTE
Soort/fase	*Vervanging*	~130 FTE	~730 FTE	~740 FTE	~660 FTE	~1.390 FTE	~1.390 FTE
	Keten	~180 FTE	~220 FTE	~20 FTE	- FTE	~70 FTE	~10 FTE
	Bouw	- FTE	~13.300 FTE	~23.220 FTE	~13.130 FTE	~350 FTE	- FTE
	Operatie	- FTE	- FTE	~250 FTE	~870 FTE	~720 FTE	- FTE

[101] Dit zijn in dit scenario vier nieuwe generatie-III+-kerncentrales en de huidige Kerncentrale Borssele (KCB) met bedrijfsduurverlenging.

Aspecten		Nu (2024)	2025-2030	2030-2035	2035-2040	2040-2045	2045-2050
Fases in scenario 2		Voorbereiding	Realisatie 2+2 Generatie-III+-kerncentrales			Operatie 5 kerncentrales[101]	
Herkomst	*Binnenland*	~280 FTE	~4.850 FTE	~7.870 FTE	~5.320 FTE	~2.060 FTE	~1.260 FTE
	Buitenland	~30 FTE	~5.410 FTE	~9.390 FTE	~5.400 FTE	~360 FTE	~140 FTE
	Vendor	- FTE	~3.990 FTE	~6.970 FTE	~3.940 FTE	~110 FTE	- FTE
Domein	*Techniek (STEM)*	~230 FTE	~10.680 FTE	~18.160 FTE	~10.980 FTE	~1.880 FTE	~1.040 FTE
	Overig	~80 FTE	~3.570 FTE	~6.070 FTE	~3.680 FTE	~650 FTE	~360 FTE
Kennis	*Nucleair*	~60 FTE	~320 FTE	~420 FTE	~400 FTE	~400 FTE	~280 FTE
	Genucleariseerd	~190 FTE	~2.570 FTE	~4.130 FTE	~3.020 FTE	~1.470 FTE	~840 FTE
	Nucleair-bewust	~60 FTE	~11.360 FTE	~19.680 FTE	~11.240 FTE	~660 FTE	~280 FTE
Opleiding	*Mbo*	~140 FTE	~10.400 FTE	~17.930 FTE	~10.750 FTE	~1.420 FTE	~630 FTE
	Hbo	~170 FTE	~3.850 FTE	~6.300 FTE	~3.910 FTE	~1.110 FTE	~770 FTE
	Wo						

Technopolis (2024) NB: deze getallen zijn modelmatige schattingen die een indicatie geven van de omvang van de vraag. De nauwkeurigheid van deze getallen is beperkt.

Uit deze grove inschattingen volgt dat:

- In de periode 2030-2035 zal de vraag naar personeel in de kernenergiesector naar verwachting het grootst zijn met gemiddeld zo'n 4.800 FTE/jaar.
- Tijdens de realisatie van nieuwe kerncentrales (2025-2040 in dit scenario):
  - Zullen er veel mensen nodig zijn, naar schatting gemiddeld ruim 3.500 FTE/jaar, waarvan zo'n driekwart (2.600 FTE/jaar) technisch opgeleid moet zijn.
  - Zal het grootste deel van deze totale vraag, gemiddeld zo'n 2.600 FTE/jaar, naar verwachting mbo-opgeleid moeten zijn en gemiddeld zo'n 900 FTE/jaar hbo+-opgeleid moeten zijn (d.w.z. hbo/wo). Van de eerste groep zal een groot deel uit de regio/Nederland moeten komen.
  - Zal het grootste deel van deze vraag, gemiddeld zo'n 2.800 FTE/jaar, alleen nucleair-bewust moeten zijn. Desalniettemin zal ook gemiddeld zo'n 80 FTE/jaar nucleair opgeleid moeten zijn, waarvan een deel wellicht door de *vendor* wordt voorzien.
  - Zal ruim 1.200 FTE/jaar, naar verwachting uit Nederland moeten komen, maar het grootste deel zal naar verwachting uit het buitenland of van de *vendor* moeten komen.
- Tijdens de operationele fase van de vier nieuwe kerncentrales (vanaf 2040 in dit scenario):
  - Zal naar verwachting de vraag naar personeel in de nucleaire sector weer afnemen naar gemiddeld zo'n 280 FTE/jaar.
  - Zal er naar verwachting een stabiele vraag ontstaan van gemiddeld zo'n 60 FTE/jaar voor nucleair opgeleide personen, naar verwachting op hbo-/wo-niveau.
  - Zal het aanbod van personeel vooral uit Nederland moeten komen, naar verwachting gemiddeld zo'n 250 FTE/jaar op termijn, waarvan ruim de helft mbo-opgeleid dient te zijn en driekwart technisch opgeleid.

1.1 Inschattingen van het aanbod van human capital over tijd

Voor het aanbod van human capital zijn geen goede schattingen te maken. De beschikbare data zijn niet specifiek genoeg om het specifieke aanbod voor de kernenergiesector te bepalen. Dat komt doordat afgestudeerden uit relevante opleidingen naar allerlei sectoren uitstromen en het niet duidelijk is hoeveel mensen uit andere sectoren omgeschoold kunnen worden naar de kernenergiesector. Hoewel we de vraag voor het buitenland concreet kunnen maken, is het aanbod uit het buitenland op dit moment niet te kwantificeren. We verwachten dat tijdens de bouwfase zo'n 30% van het benodigde personeel door de *vendor* (direct of indirect) zal worden geleverd, maar het uiteindelijke aanbod zal afhangen van de gekozen *vendor*.

Kwalitatief is het beeld echter helder:

- De arbeidsmarkt voor technisch opgeleide mensen is zeer krap en zal dat naar verwachting ook blijven. Er is sterke concurrentie voor technisch personeel, ook in regio's die in beeld zijn voor de bouw van kerncentrales.
- De demografie van Nederland leidt ertoe dat er steeds minder mensen in Nederland zullen afstuderen van relevante opleidingen, ondanks de trend dat er meer studenten kiezen voor technische opleidingen. Realistisch gezien kan het aantal afstudeerders aan relevante opleidingen in Nederland alleen substantieel toenemen als de buitenlandse instroom bij deze opleidingen toeneemt. Huidig overheidsbeleid is er echter op gericht om die buitenlandse instroom te beperken.
- Het aantal mbo-studenten aan relevante opleidingen is de laatste jaren aan het afnemen, doordat er steeds meer studenten naar hbo en wo gaan.
- Het aanbod van nucleaire vakken/kennis in het onderwijs is beperkt. Daardoor zullen weinig studenten tijdens hun studie al voorsorteren op werken in de kernenergiesector en gemakkelijker hun weg naar bekendere technische sectoren vinden dan de kernenergiesector. Daardoor is de concurrentie met andere (technische) sectoren op dit talent groter.
- Er zijn initiatieven om de kennisbasis in het onderwijs te vergroten (o.a. financieren nieuwe leerstoelen en het werk van de *Nuclear Academy* als onderdeel van de Human Capital Agenda van het MMIP Kernenergie). Dat zijn belangrijke ontwikkelingen om nucleair meer in het onderwijs aan bod te laten komen.
- Voor diverse andere sectoren in de techniek en energie wordt ingezet op omscholing van mensen uit andere sectoren. Kansen liggen bij de fossiele (energie)industrie, maar daar richten ook andere sectoren zich op voor omscholing. De vraag is hoeveel aanbod voor de kernenergiesector daardoor daadwerkelijk uit omscholing kan worden gerealiseerd. Dat zal waarschijnlijk afhangen van in hoeverre de arbeidsvoorwaarden ook voldoende interessant gemaakt kunnen worden.
- Na de bouwfase, waarin de grootste vraag is naar human capital, kan het aanbod van geschikt personeel voor de kernenergiesector tijdelijk toenemen. Een deel van het technisch personeel dat aan de realisatie van nieuwe kerncentrales heeft gewerkt, kan mogelijk elders in de kernenergiesector in Nederland werk vinden, al zal een groot deel ook weer met de *vendor* en toeleverde bedrijven/(onder)aannemers meegaan naar een volgend project, terugkeren naar het buitenland of werk vinden in andere sectoren.

4.2 De match tussen vraag en aanbod

In alle onderzochte scenario's zal de kernenergiesector de komende jaren fors groeien en daarna groter zijn en blijven dan voorheen. De sterk toenemende vraag in de

kernenergiesector kan zowel kwantitatief als kwalitatief niet zomaar met het voorziene aanbod van human capital in Nederland beantwoord worden.

De grootste uitdaging vormt de zeer krappe arbeidsmarkt voor technisch personeel in Nederland. Onderwijs is onderdeel van de oplossing, maar is niet voldoende om aan deze vraag te kunnen voldoen. Omscholing en het aantrekken van buitenlands personeel zal onderdeel moeten zijn van de oplossing. Daarvoor is actieve werving in binnen- en buitenland noodzakelijk. Daarnaast is inpassing van enige vorm van nucleair in het technisch onderwijs belangrijk om de kennisbasis van technisch talent te vergroten en de concurrentiepositie van de kernenergiesector op de arbeidsmarkt te versterken. Bedrijfsopleidingen zijn nodig om installatie- en nucleair-specifieke kennis bij te brengen, inclusief kwaliteits- en veiligheids-vereisten.

De sterke vraag naar mbo-opgeleid personeel zal vooral regionaal aangepakt moeten worden in het onderwijs gezien de beperkte mobiliteit van mbo-afgestudeerden. Ook op hbo-niveau ligt het voor de hand om vooral in de regio's in te zetten waar de vraag het sterkst is. Onderwijsinstellingen worden op dit moment overvraagd om oplossingen te bieden voor huidige arbeidsmarktuitdagingen. Het ontbreken van een heldere vraag en vragende partij, en vereisten aan macrodoelmatigheid, maken het op dit moment lastig voor onderwijsinstellingen om specifiek op kernenergie onderwijsinvesteringen te doen. De vraag naar nucleair-opgeleid personeel (naar verwachting op termijn stabiliserend naar gemiddeld zo'n 60 FTE/jaar) lijkt echter voldoende groot en langdurig om ruimte te bieden aan een hbo/wo-master op het gebied van *nuclear energy and engineering*.

5 Conclusies

Kernenergie staat weer expliciet op de politieke agenda sinds het regeerakkoord van het Kabinet Rutte IV in 2021, waarin een bedrijfsduurverlenging van de kerncentrale in Borssele en de bouw van twee nieuwe kerncentrales waren vastgelegd. Sindsdien is kernenergie niet meer van de politieke agenda verdwenen. Het hoofdlijnenakkoord voor het huidige Kabinet Schoof stelt dat niet alleen de kerncentrale in Borssele open blijft en de bouw van twee nieuwe kerncentrales wordt doorgezet, maar ook dat er nog twee extra kerncentrales zullen komen, terwijl verder de mogelijkheden voor meerdere kleinere kerncentrales (Small Modular Reactors, SMR's) worden onderzocht.

Deze beslissingen betekenen een grote koerswijziging voor de nucleaire sector en hebben behoorlijke implicaties. Voor 2021 was de nucleaire sector in Nederland al gedurende langere tijd aan het krimpen, aangezien de Kerncentrale Borssele binnen afzienbare tijd zou gaan sluiten.

In dit onderzoek is gekeken naar de human capital implicaties van de nieuwe ontwikkelingen, aan de hand van drie scenario's: Scenario 1 representeert het beleid van Kabinet Rutte IV, scenario 2 representeert het beleid van Kabinet Schoof en scenario 3 representeert het beleid van Kabinet Schoof met een aantal SMR's in Nederland.

5.1 Flinke groei van de kernenergiesector en uitdagende vraag naar human capital

- De **kernenergiesector in Nederland is anno 2024 een kleine, goed georganiseerde sector,** waarin zo'n 1.900 FTE werken. Bijna alle segmenten van de nucleaire sector zijn in Nederland aanwezig met organisaties die (internationaal) een vooraanstaande positie hebben. De meeste werknemers in de kernenergiesector zijn mbo- of hbo-geschoold (resp. 45% en 31%) en hebben een technische opleiding genoten (61%). Slechts 6% heeft een nucleaire opleiding gevolgd. Mensen die eenmaal in de sector werken blijven er vrij lang werkzaam, de uitstroom in de kernenergiesector is gemiddeld zeer laag. Wel heeft het personeel in de kernenergiesector een relatief hoge gemiddelde leeftijd (vergrijzing).
- **Voor deze kleine sector gaan alle scenario's in deze studie een grote verandering betekenen met een grote opgave op het gebied van human capital**, om aan de vraag te voldoen. Na de bouw van vier nieuwe kerncentrales is de kernenergiesector structureel met zo'n 110% gegroeid en zijn er zo'n 4.000 FTE werkzaam.
- **Met name de bouw van nieuwe kerncentrales zal een forse schaalvergroting van de sector vragen**. Sinds ongeveer 2021 is de personele omvang van de sector al met 23% gegroeid, grotendeels door de overheidsplannen voor de bouw van nieuwe kerncentrales. Dit is echter een kleine groei vergeleken met wat er nodig zal zijn wanneer er meerdere nieuwe centrales gebouwd of in gebruik zullen worden genomen.
- **Op basis van een grove modelmatige inschatting** in het scenario dat er vier nieuwe kerncentrales in Nederland komen en de bedrijfsduur van de kerncentrale Borssele wordt verlengd (scenario 2), **verwachten we dat de totale vraag naar nieuwe mensen voor de kernenergiesector op het hoogtepunt van de bouwfase (in de periode 2030-2035) groeit naar 23-24 duizend FTE[102]**. Tijdens de bouwfase schatten we de vraag naar personeel in de kernenergiesector op **gemiddeld zo'n 3.500 FTE per jaar, waarvan zo'n 1.200 FTE per jaar uit Nederland moet komen**. Deze grote vraag is tijdelijk (tot ongeveer 2040) en omvat een verscheidenheid aan mensen betrokken bij de bouw, constructie en installatie van vier

[102] Dit is de totale geschatte vraag over een periode van vijf jaar (2030-2035), dus in die periode gemiddeld 4.600-4.800 FTE per jaar.

nieuwe kerncentrales. Deze vraag kan in theorie tot 35% lager uitvallen als de bouw van vier kerncentrales efficiënt plaatsvindt, zodanig dat personeel van de bouw van de eerste twee kerncentrales direct door kan naar de bouw van de andere twee kerncentrales.

- Er zal een duidelijke **piek in de vraag naar human capital zijn tijdens de bouwfase** van de kerncentrales. Van die vraag heeft **driekwart een technische achtergrond** en is **driekwart mbo-opgeleid**. Het **grootste deel van de vraag (ca. 80%) zal naar verwachting nucleair bewust personeel zijn**. Dat betekent dat er voor deze mensen er (bij)scholing nodig zal zijn om te zorgen dat alle werknemers aan de strenge veiligheids- en kwaliteitseisen kunnen voldoen. Desalniettemin zal er in deze fase ook vraag zijn naar **gemiddeld zo'n 80 FTE per jaar aan nucleair opgeleid personeel zijn**.
- **In de operationele fase** van de nieuwe kerncentrales (vanaf 2040), **zal de vraag naar personeel weliswaar weer afnemen**, maar zal de vraag waarschijnlijk nog steeds gemiddeld zo'n **280 FTE per jaar** zijn, waarvan zo'n **60 FTE per jaar voor nucleair opgeleid personeel**.
- Hoe groot de kernenergiesector exact zal worden en wat de precieze vraag naar human capital zal zijn tijdens de bouwfase en operationele fase, is een ingewikkelde inschatting om te maken op basis van bronnen die op dit moment beschikbaar zijn. Voor die inschatting moeten we veel aannames maken (zie sectie 4.1) en informatie uit verschillende bronnen, o.a. over verschillende kerncentrales in verschillende landen combineren. Dat maakt dat deze inschattingen indicatief zijn en later – wanneer er meer duidelijkheid is – aangescherpt moeten worden.

5.2 Vier knelpunten voor human capital in de kernenergiesector

Bovenstaande groei zal niet vanzelfsprekend zijn. Wij zien vier knelpunten voor human capital in de kernenergiesector: (1) **het tekort aan technisch talent** op de Nederlandse arbeidsmarkt; (2) **de beperkte omvang van de nucleaire kennisbasis** in Nederland; (3) **beperkt aanbod van onderwijs en trainingen** voor de sector; en (4) **internationale concurrentie en concurrentie met andere sectoren**.

5.2.1 Tekort aan technisch talent op de Nederlandse arbeidsmarkt

- Het **overgrote deel van het personeel** dat nu in de nucleaire sector werkt en dat in de toekomst in de sector nodig zal zijn, is **technisch geschoold** personeel (ca. 75% van de vraag[103]). Momenteel heeft het merendeel van de medewerkers in de kernenergiesector een mbo- of hbo- opleiding en een technische achtergrond. Slechts een klein percentage, zo'n 6%, heeft een nucleaire opleiding gevolgd.
- Voor de **bouw van nieuwe centrales** is de verwachting dat er voornamelijk behoefte gaat zijn aan **technisch personeel dat nucleair bewust is** en in mindere mate aan nucleair personeel. Zo'n driekwart van het personeel in de bouwfase zal mbo-opgeleid zijn. Mbo- en (in mindere mate) hbo-opgeleiden werken veelal in de regio waar ze zijn opgeleid, daarom is er een **belangrijke rol weggelegd voor onderwijsinstellingen in regio's waar nieuwe kerncentrales worden gebouwd**.
- Er is in Nederland een **tekort aan technisch opgeleid personeel. Er is een sterke concurrentie met andere sectoren voor dit personeel**, met name in de sectoren chemie, on- en offshore en hightech. In de kernenergiesector is momenteel al merkbaar dat het lastig is vacatures

[103] Een opleiding in de domeinen techniek, natuurwetenschappen, bouw, constructie, infra of een nucleaire opleiding.

voor technisch personeel te vervullen, maar de sector is daar de afgelopen jaren wel in geslaagd.

- Er is sprake van een daling in het aantal mbo-studenten dat een relevante opleiding voor de kernenergiesector volgt. Daar komt bij dat de demografische ontwikkeling van Nederland (vergrijzing en minder kinderen) leidt tot een **afname van studenten in de komende jaren op alle niveaus**.

5.2.2 De omvang van de nucleaire kennisbasis in Nederland

- De huidige **nucleaire kennisbasis in Nederland is van hoge kwaliteit, maar geconcentreerd op een paar plekken**. Er zijn weinig kennisdragers en docenten op het gebied van kernenergies aan Nederlandse universiteiten. Specifiek nucleair onderwijs en academisch onderzoek vindt voornamelijk plaats bij de TU Delft. Bij de RUG gaat de hoogleraar met nucleaire kennis binnen enkele jaren met pensioen. De TU Eindhoven is voornamelijk gefocust op kernfusie, niet zozeer op de technieken die toegepast zullen worden in Gen III+ kerncentrales.
- Op het **mbo en het hbo is op dit moment weinig tot geen inhoudelijke nucleaire kennis** aanwezig bij docenten, practoren en lectoren. De *Nuclear Academy* probeert – met succes – mbo's en hbo's te ondersteunen door gastdocenten aan te bieden en onderwijsprogramma's te ontwikkelen, zoals bij Scalda en Hogeschool Zeeland.
- Daar komt bij dat er binnen de organisaties **in de kernenergiesector sprake is van vergrijzing**, waardoor er binnen de komende 10 tot 15 jaar een vervangingsvraag van rond de 600 FTE zal zijn, op een sector van ongeveer 1.900 FTE. **Zonder goede kennisoverdracht verdwijnt er de komende jaren veel kennis en expertise uit de sector.**
- De **huidige nucleaire kennisbasis past bij de kernenergiesector anno 2024, maar is niet toereikend voor de ontwikkelingen die de sector in de verschillende scenario's zal doormaken**. Ontwikkelingen zoals nieuwe centrales, SMR's en het toewerken naar een eindberging voor radioactief afval binnen de sector, vereisen dat er nieuwe kennis ontwikkeld wordt om bij te blijven met deze ontwikkelingen. Daarnaast gaan op het wo, maar ook steeds meer op het hbo en mbo, onderzoek en onderwijs hand in hand. Kennis moet immers ontwikkeld worden voor het onderwezen kan worden.
- Op dit vlak zijn al wel ontwikkelingen gaande. Zo zijn er middelen ter beschikking gesteld voor het instellen van zes nieuwe PhD-posities en drie nieuwe leerstoelen op het gebied van kernenergie aan de TU Delft en zijn er middelen gereserveerd om ook de kennisbasis bij andere universiteiten, hbo's en mbo's te versterken. Er is echter meer actie op het gebied van human capital noodzakelijk.

5.2.3 Beperkt aanbod van onderwijs en trainingen voor de sector

- Momenteel zijn er **slechts enkele studenten per jaar die na hun afstuderen gezien zouden kunnen worden als nucleair personeel**. Dit zijn studenten die aan de TU Delft afstuderen met de aantekening *Nuclear Science and Engineering*. Deze studenten hebben nucleaire keuzevakken gevolgd en een afstudeeronderzoek op nucleair gebied.
- Bovendien worden **onderwijsinstellingen overvraagd door overheden en sectoren om oplossingen te bieden voor arbeidsmarktuitdagingen**, o.a. in de bredere energiesector. De instellingen kunnen niet voor elke sector aparte opleidingen opzetten, zeker wanneer het niet duidelijk is of er genoeg studenten zullen zijn om dit een goede onderwijsinvestering te maken.
- Door het **ontbreken van een concrete vraag – de vragende partij voor de nieuwe centrales is er immers nog niet – is er voor onderwijsinstellingen op dit moment onvoldoende sprake**

van een *business case* voor het ontwikkelen van onderwijs specifiek voor de kernenergiesector. Het ontwikkelen van nieuwe opleidingen op het mbo en hbo is daardoor moeilijk te realiseren. Het is gemakkelijker om keuze-onderdelen in het onderwijs te ontwikkelen in regio's waar grote werkgevers in de kernenergiesector zitten.

- **Er zijn op het vlak van onderwijs al wel ontwikkelingen gaande**. Zo is de *Nuclear Academy* opgezet om nucleair technologische opleidingen en trainingen te helpen realiseren, o.a. door ze van 'content' te voorzien. Op mbo-niveau is er een keuzedeel nucleaire technologie ontwikkeld dat wordt aangeboden door Scalda. Op het hbo in nauwe samenwerking met regieorgaan SIA wordt een praktijkgericht onderzoeksprogramma opgezet voor en door hogescholen met als doel om een impuls te geven aan onderwijs en onderzoek op het gebied van kernenergie op hbo-niveau. Daarnaast is een nieuwe minor op het gebied van kernenergie in ontwikkeling bij de Hogeschool Zeeland en werken verschillende hbo-instellingen samen om enkele bredere aspecten die relevant zijn voor de kernenergiesector – maar ook voor andere sectoren – in het onderwijs en onderzoek mee te nemen.

5.2.4 Internationale concurrentie en concurrentie met andere sectoren

- Nederland is niet het enige land dat aan de slag wil met nucleaire energie. In diverse Europese landen wordt gesproken over, of zijn concrete plannen voor, het bouwen van nieuwe kerncentrales. **Andere Europese landen vragen dus om vergelijkbaar personeel.**
- **In alle scenario's zal het nodig zijn om een (substantieel) deel van het personeel uit het buitenland te halen**. De inzet van het huidige overheidsbeleid op het beperken van kennis- en arbeidsmigratie, inclusief de beperking van de instroom van buitenlandse studenten, vormt hiervoor een beperking. De internationale concurrentie om dit personeel neemt naar verwachting toe als meerdere Europese landen tegelijkertijd nieuwe kerncentrales zullen bouwen. Beide factoren kunnen het mogelijk lastig maken om het benodigde personeel naar Nederland te halen en kunnen vertragend werken op de realisatie van nieuwe kerncentrales.
- Tegelijkertijd liggen er ook **kansen in het buitenland**. In landen waar onlangs nieuwe kerncentrales gebouwd zijn of worden gebouwd, zoals Frankrijk, het Verenigd Koninkrijk en Polen, is veel kennis aanwezig die in Nederland nuttig kan zijn. Met deze landen, en andere Europese landen die nieuwe kerncentrales willen bouwen, kan samenwerking worden opgezocht gericht op leren en best-practices voor human capital. Aangezien nucleair personeel over het algemeen lang trouw is aan het werk in de kernenergiesector, is het mogelijk dat buitenlandse werknemers tijdelijk naar Nederland verhuizen om hier te werken – met name bij hoger opgeleide nucleair specialisten. Kansen hiervoor liggen ook in landen die hun kernenergieprogramma afbouwen, zoals Duitsland en (vooralsnog formeel ook) België.
- **Naast internationale concurrentie is er, zoals eerder genoemd, ook sterke concurrentie op technisch personeel met andere sectoren binnen Nederland**. Ook andere sectoren, bijvoorbeeld hightech en de duurzame energiesector, hebben initiatieven opgezet om technisch talent te werven en om te scholen (zijinstroom). Buitenlandse instroom zal belangrijk zijn, omdat de poel waar al deze sectoren in vissen niet zomaar groter zal worden en concurrerende initiatieven het human capital probleem van de ene naar de andere sector verschuiven.

6 Aanbevelingen en roadmap voor de HCA Kernenergie

De vraag naar human capital voor de kernenergiesector neemt in alle onderzochte scenario's flink toe. Kwantitatief verschilt de vraag per scenario, maar kwalitatief blijft de vraag nagenoeg gelijk. Dat betekent dat in elk scenario dezelfde soort acties nodig zijn om de uitdaging op het gebied van human capital te adresseren. De aanbevelingen of acties die we voorstellen in dit hoofdstuk voor de HCA Kernenergie zijn daarom relevant voor elk scenario.

Voor de kwantitatieve duiding van de aanbevelingen gaan we echter uit van scenario 2, welke het huidige beleid van Kabinet Schoof representeert. We gebruiken daarvoor de analyse uit hoofdstuk 4.

In dit hoofdstuk presenteren we eerst enkele procesaanbevelingen voor de HCA Kernenergie. Daarna formuleren we de missie die wij zien voor de HCA Kernenergie en enkele globale HCA-doelen en actielijnen die voldoende ruimte laten om met stakeholders verder uit te werken voor een *gedragen* human capital agenda. Op basis van deze doelen benoemen we acties voor de roadmap en bijbehorende afhankelijkheden en randvoorwaarden.

6.1 Procesaanbevelingen

De uitdagingen op het gebied van human capital in de kernenergiesector zullen naar verwachting groot zullen zijn. Daarom moet er doelgericht en met alle stakeholders samen gewerkt worden aan human capital. Deze stakeholders zijn:

- **De overheid**: vertegenwoordigers van primair het ministerie van KGG en IenW en secundair de ANVS en de ministeries van EZ (Directie Innovatie en Kennis) en OCW.
- **De sector**:
  - vertegenwoordigers van de huidige organisaties in de kernenergiesector;
  - de projectorganisatie die uitvoering zal gaan geven aan de realisatie van nieuwe kerncentrales;
  - de *vendor* en bedrijven die betrokken zullen zijn bij de bouw van nieuwe kerncentrales; en
  - de toekomstige *operator* van nieuwe kerncentrales.
- **Het onderwijs**: vertegenwoordigers van mbo-, hbo- en wo-instellingen (voor onderwijs en onderzoek) in Nederland of de regio's waarin substantiële activiteiten in de kernenergiesector plaatsvinden, en de *Nuclear Academy*.

Wij adviseren om samen met hen binnen het MMIP Kernenergie het volgende te doen:

- De HCA Kernenergie nader uit te werken in een langjarige roadmap (minimaal 10 jaar) met concrete doelen die door alle stakeholders worden onderschreven. Dat betekent dat deze doelen eerst gezamenlijk met alle stakeholders moeten worden aangescherpt en gedragen. Wij doen hiervoor een aanzet in 6.2.
- De doelen voor deze roadmap nader uit te werken in acties die gedragen worden door stakeholders die uitvoering kunnen geven aan deze acties. Dit kan pas nadat er overeenstemming is over de doelen van het programma. Wij doen concrete aanbevelingen voor deze acties en plaatsen deze in een roadmap in sectie 6.3.
- Een HCA-werkgroep (onder het missieteam Kernenergie) in te stellen voor de uitvoering en monitoring van deze roadmap waarin alle bovenstaande stakeholders vertegenwoordigd zijn op ambtelijk/uitvoerend niveau.

- De roadmap periodiek te evalueren en te herzien op basis van inzichten die voortkomen uit nieuwe informatie en ontwikkelingen. Dat betekent dat de roadmap periodiek wordt bijgesteld en nieuwe acties worden opgestart of toegevoegd op basis van ervaren knelpunten en herziene inschattingen van de vraag naar human capital. Een eerste update zou bijvoorbeeld plaats kunnen vinden nadat Nederland een duidelijk visie over de rol van SMR 's heeft ontwikkeld.
- Langjarig/structureel publieke én private middelen toe te kennen aan deze roadmap. De hoogte van deze middelen hangt af van de uiteindelijke doelen, acties en snelheid waarop die acties moeten plaatsvinden.

Ondanks onzekerheden op het gebied van human capital voor de kernenergiesector die in deze studie zijn benoemd en door stakeholders zijn aangegeven, **adviseren wij om spoedig aan de slag te gaan met de HCA Kernenergie** gezien de grote uitdagingen waar de sector voor staat en de tijd die acties zullen vergen voordat zij hun vruchten afwerpen.

6.2 Opdracht, doelen en actielijnen voor de HCA Kernenergie

De opdracht van de HCA Kernenergie bepaalt de afbakening van de activiteiten die er binnen deze roadmap worden uitgevoerd. Naar ons idee kan dat alleen gericht zijn op het bijdragen aan het wegnemen van human capital knelpunten, omdat de HCA Kernenergie geen partij is die zelf de vraag noch het aanbod kan sturen. Daarom adviseren wij navolgende opdrachtomschrijving en hanteren wij die voor de afbakening van acties voor de roadmap.

Opdracht: De HCA Kernenergie is een publiek-privaat samenwerkingsprogramma dat moet bijdragen aan het tijdig oplossen van (verwachte) human capital knelpunten voor de kernenergiesector op de langere termijn.

De doelen in de HCA moeten SMART geformuleerd zijn om goed te kunnen monitoren. Daarnaast moeten de doelen gesteund worden door alle betrokken stakeholders. Wij stellen hieronder enkele doelen voor die met stakeholders verder uitgewerkt kunnen worden voor gezamenlijk draagvlak.

Hoofddoel: Het beter in overeenstemming brengen van vraag en aanbod van human capital in de kernenergiesector ten behoeve van de bouw en operatie van nieuwe kerncentrales in Nederland in de periode 2025-2045.

Een voorbeeldindicator voor het kunnen meten van minder mismatch: (afname in de) duur waarop vacatures in de Nederlandse kernenergiesector open staan.

Actielijnen voor de HCA met voorbeelden van bijbehorende subdoelstellingen:

- Actielijn 1: Het vergroten van technisch talent op de Nederlandse arbeidsmarkt

  Gezien de grote behoefte aan divers technisch talent de komende jaren in de kernenergiesector, richt de eerste actielijn zich op het vergroten van technisch talent op alle niveaus op de Nederlandse arbeidsmarkt.

  - *Voorbeeld van een mogelijke subdoelstelling voor de eerste 5 jaar*:
    - In 2030 is het aantal technisch geschoolde mensen op de Nederlandse arbeidsmarkt toegenomen met X%[104].
- Actielijn 2: Het vergroten van nucleaire kennisbasis in Nederland

[104] Te specificeren op basis van haalbaarheid, gezamenlijke ambities en middelen.

Aangezien er de komende jaren meer nucleaire kennis nodig is in Nederland, richt de tweede actielijn zich op het delen van bestaande nucleaire kennis en het vergroten van kennis relevant voor de kernenergiesector in alle niveaus van het onderwijs.

- *Voorbeeld van een mogelijke subdoelstelling voor de eerste 5 jaar*:
  - In 2030 is het aantal mensen met nucleaire expertise in het onderwijs en het aanbod van nucleair-specifiek onderwijs in Nederland tenminste verdubbeld.

- Actielijn 3: Het vergroten van het aanbod van onderwijs en training voor de kernenergiesector

  Aangezien er de komende jaren veel mensen nodig zijn in de kernenergiesector en er op dit moment nog weinig aandacht is voor kernenergie in het onderwijs, richt de derde actielijn zich op het vergroten van het aanbod van onderwijs en training voor de kernenergiesector. Dat moet ertoe bijdragen dat meer mensen de juiste kennis hebben voor de kernenergiesector en gaan werken in de kernenergiesector. Hierbij ligt de focus op het nucleair bewust maken van mensen en het nucleariseren van mensen, omdat daar de grootste vraag naar zal zijn, en in mindere mate op nucleair experts.

  - *Voorbeeld van een mogelijke subdoelstelling voor de eerste 5 jaar*:
    - In 2030 is er in de gehele onderwijsketen (mbo–hbo–wo–post-initieel) aanbod van onderwijs (in de vorm van keuze onderdelen, masters, bedrijfsopleidingen, etc.) dat zich specifiek richt op kennis voor de kernenergiesector.

- Actielijn 4: Het versterken van de concurrentiepositie van de Nederlandse kernenergiesector op de (inter)nationale arbeidsmarkt

  Aangezien veel mensen binnen Nederland en Europa geworven moeten worden om in de human capital vraag van de kernenergiesector te voorzien, richt de vierde actielijn zich op werving en het versterken van de positie van Nederlandse kernenergiesector op de (technische) arbeidsmarkt.

  - *Voorbeeld van een mogelijke subdoelstelling voor de eerste 5 jaar*:
    - In 2030 staat de Nederlandse kernenergiesector in Nederland en Europa bekend als een aantrekkelijke en kansrijke sector om in te werken.

6.3 Aanbevolen acties en roadmap

6.3.1 *Actielijn 1: Het vergroten van technisch talent op de Nederlandse arbeidsmarkt*

De vraag naar technisch personeel in de nucleaire sector neemt de komende jaren sterk toe. In scenario 2 (zie navolgende tabel voor de geschatte vraag naar domein) gaat het tussen 2025-2040 om gemiddeld zo'n 2.600 FTE/jaar. Tegelijkertijd is er een grote krapte op de arbeidsmarkt voor technisch personeel. De verwachting is dat die krapte de komende jaren niet minder wordt door de beperkte uitstroom uit het onderwijs. Het vergroten van technisch talent op de Nederlandse arbeidsmarkt is daarom belangrijk voor de kernenergiesector. Daarvoor zien wij drie bronnen voor human capital: (1) het vergroten van de instroom van technische opleidingen, (2) het omscholen van mensen uit andere (niet-technische) sectoren naar de techniek, (3) het werven van technisch personeel uit het buitenland. Het is echter op voorhand niet te bepalen hoeveel mensen uit elk van deze bronnen te verwachten zijn.

Aspecten		Nu (2024)	2025-2030	2030-2035	2035-2040	2040-2045	2045-2050
Fases in scenario 2		**Voorbereiding**	**Realisatie 2+2 Generatie-III+-kerncentrales**			**Operatie 5 kerncentrales**	
Totale geschatte vraag		**~310 FTE**	**~14.250 FTE**	**~24.230 FTE**	**~14.660 FTE**	**~2.530 FTE**	**~1.400** FTE
Domein	*Techniek (STEM)*	~230 FTE	~10.680 FTE	~18.160 FTE	~10.980 FTE	~1.880 FTE	~1.040 FTE
	Overig	~80 FTE	~3.570 FTE	~6.070 FTE	~3.680 FTE	~650 FTE	~360 FTE

Technopolis (2024) NB: deze getallen zijn modelmatige schattingen die een indicatie geven van de omvang van de vraag. De nauwkeurigheid van deze getallen is beperkt.

Wij bevelen de volgende acties aan:

- **Actie 1.1:** Zoek samenwerking met Platform Talent voor Technologie (PTvT) voor het ontwikkelen van effectieve acties om technisch talent voor de kernenergiesector op de Nederlandse arbeidsmarkt te bevorderen en duplicatie te voorkomen. Hiermee kan direct worden gestart.
- **Actie 1.2:** Stimuleer de instroom van technische opleidingen in Nederland door het geven van een extra (publieke en private financiële) impuls aan of het uitbreiden van bestaande initiatieven (bijv. Techniekpact). Zet in op het zichtbaar maken van kernenergie en nucleaire technologie bij deze initiatieven.
- **Actie 1.3:** Stel beurzen beschikbaar voor omscholing naar technische beroepen die relevant zijn voor de kernenergiesector op vooral mbo- en hbo-niveau. Dit moet leiden tot meer human capital (zijinstroom) met de juiste kwalificaties voor de kernenergiesector.
- **Actie 1.4/4.2**: Zet als sector een gezamenlijke wervingscampagne op om recent afgestudeerden, of mensen met een relevante technische achtergrond uit het buitenland, of uit andere sectoren, aan te trekken voor de Nederlandse kernenergiesector. Op korte termijn zou een campagne gelanceerd moeten worden gericht op werving voor de bouwfase. Vanaf 2035 zou een nieuwe wervingscampagne zich moeten richten op de operationele fase en keten.
- **Rollen van stakeholders binnen deze actielijn**:
  - Rol HCA-werkgroep: het opzetten en coördineren van deze acties, partijen verbinden voor de uitvoering, en het monitoren van de voortgang van deze acties. Waar uitdagingen ontstaan kan de HCA-werkgroep een rol spelen in het oplossen van deze uitdagingen.
  - Rol overheid: de overheid kan voor deze acties met name financiering, netwerk en personeel beschikbaar stellen.
  - Rol sector (incl. projectorganisatie, *vendor* en *operator*): huidige en toekomstige organisaties in de kernenergiesector kunnen bijdragen aan de financiering van deze acties, maar ook een rol spelen in het ontwikkelen van acties en activiteiten om technisch talent voor hun sector aan te trekken (bijv. stages, gastlessen, bedrijfsbezoeken, leerwerktrajecten, etc.). Op termijn kan de projectorganisatie, *vendor* of *operator* van nieuwe kerncentrales ook een rol spelen in het verzorgen van omscholing. De sector zou bovendien de leiding moeten pakken bij het opzetten van een wervingscampagne.
  - Rol onderwijs: het onderwijs heeft vooral een rol in het verzorgen van omscholing en het (inhoudelijk) bijdragen aan en vormgeven van initiatieven om de instroom van technische opleidingen te vergroten.

6.3.2 *Actielijn 2: Het vergroten van nucleaire kennisbasis in Nederland*

De vraag naar mensen met kennis over nucleaire technologie, kernenergie, ioniserende straling, veiligheid en regelgeving in de kernenergiesector neemt de komende jaren toe. Er zal tijdens de bouwfase met name vraag zijn naar mensen die nucleair-bewust zijn (in scenario 2 schatten we gemiddeld zo'n 2.800 FTE/jaar), maar er is ook een substantiële vraag naar mensen met meer uitgebreide nucleaire kennis (zie navolgende tabel voor de geschatte vraag naar kennis). In scenario 2 zal tijdens de realisatie van nieuwe kerncentrales naar schatting gemiddeld zo'n 650 FTE/jaar genuclearisseerd moeten worden in opleiding en training. Daarvoor is goede kennisdeling en interne opleiding belangrijk om nieuwe mensen de juiste kennis bij te brengen. Op termijn zijn er tijdens de operationele fase van nieuwe kerncentrales gemiddeld zo'n 60 FTE/jaar aan nucleair-opgeleid personeel nodig in de kernenergiesector. Als Nederland op termijn niet afhankelijk wil zijn van het buitenland voor personeel in de kernenergiesector, zal een groot deel van deze mensen ook in Nederland opgeleid moeten worden. Dat betekent dat de kennisbasis in het Nederlandse onderwijs vergroot moet worden.

Aspecten		**Nu (2024)**	**2025-2030**	**2030-2035**	**2035-2040**	**2040-2045**	**2045-2050**
Fases in scenario 2		**Voorbereiding**	**Realisatie 2+2 Generatie-III+-kerncentrales**			**Operatie 5 kerncentrales**	
Totale geschatte vraag		**~310 FTE**	**~14.250 FTE**	**~24.230 FTE**	**~14.660 FTE**	**~2.530 FTE**	**~1.400** FTE
Kennis	*Nucleair*	~60 FTE	~320 FTE	~420 FTE	~400 FTE	~400 FTE	~280 FTE
	Genuclearisseerd	~190 FTE	~2.570 FTE	~4.130 FTE	~3.020 FTE	~1.470 FTE	~840 FTE
	Nucleair-bewust	~60 FTE	~11.360 FTE	~19.680 FTE	~11.240 FTE	~660 FTE	~280 FTE

Technopolis (2024) NB: deze getallen zijn modelmatige schattingen die een indicatie geven van de omvang van de vraag. De nauwkeurigheid van deze getallen is beperkt.

Wij bevelen de volgende acties aan:

- **Actie 2.1**: Stel enkele hoogleraren/universitair docenten, lectoren en practoren aan op onderwerpen die relevant zijn voor de kernenergiesector (bijvoorbeeld kernenergie, nucleaire technologie/techniek, ioniserende straling, nucleaire veiligheid en regelgeving) om de nucleair-relevante kennisbasis in het onderwijs te vergroten. Hiervoor zijn binnen het MMIP Kernenergie al stappen gezet. Stel daarvoor eerst vast met welke posities en voor welke onderwerpen de kennisbasis het best versterkt kan worden. Zet in op focus en massa: verspreid investeringen niet te veel en versterk idealiter waar al enige kennis is.

  Deze kennisimpuls zou moeten landen bij enkele mbo- en hbo-instellingen in regio's waar zich grotere werkgevers in de kernenergiesector bevinden (Zeeland, Noord-Holland, Overijssel) of gaan bevinden (voorziene locaties nieuwe kerncentrales). In het wo is de regionale component minder belangrijk, maar adviseren we om investeringen te focussen. Het instellen van drie leerstoelen aan de TU Delft op het gebied van *nuclear energy technology*, *materials science for nuclear reactors* en *nuclear reactor physics* is hier al een mooi voorbeeld van.

- **Actie 2.2**: Zet voor de korte termijn een centraal georganiseerd '*train-the-trainer*'-programma op via de *Nuclear Academy*, met een grote rol voor onderwijsinstellingen, om kennis vanuit de sector en kennisinstellingen te laten landen bij docenten in het initiële en post-initiële technische onderwijs.

- **Actie 2.3**: Richt als sector voor de korte termijn een breed kennisplatform op om kennis te delen tussen kennisdragers uit sector en onderwijs, docenten en nieuwe professionals.

Verhoog zo de kennisbasis bij professionals. Trek en deel lessen uit de ervaringen rondom PALLAS en kerncentrales in het buitenland.

- **Actie 2.4:** Verken de haalbaarheid van het ontwikkelen van een *Associate Degree* (AD) opleiding *nuclear technology and operations* voor het nucleariseren van mensen met een technische vooropleiding (op mbo-niveau). Met een tweejarige AD-opleiding doen zij via een praktijkgerichte opleiding op hbo-niveau kennis en vaardigheden op om klaargestoomd te worden voor een baan in de kernenergiesector. Indien dit haalbaar is: bied (overheid)financiering om dit AD-programma snel te ontwikkelen en te laten starten (tijdens/begin van de bouwfase). Indien dit niet mogelijk is: zoek naar andere efficiënte mogelijkheden binnen het onderwijs voor het nucleariseren van mensen met een technische vooropleiding. De in te stellen lectoren en practoren in Actie 2.1 spelen een rol in de uitwerking van deze actie.
- **Actie 2.5**: Verken de haalbaarheid van de ontwikkeling van een volwaardige master op het gebied van *nuclear energy and engineering* voor het opleiden van nucleair specialisten in Nederland. Dit kan bijvoorbeeld een *joint master* zijn die aan verschillende instellingen wordt verzorgd of een gecombineerde hbo/wo-master. Sluit daarbij aan bij bestaande sterktes van universiteiten en het hbo. Indien dit mogelijk is: bied (overheids)financiering om deze master zo snel mogelijk te ontwikkelen en te laten starten (tijdens/begin van de bouwfase). Indien dit niet mogelijk is: bied financiering om een volwaardige *master track* binnen bestaande relevante masteropleidingen zo snel mogelijk te laten starten (tijdens/begin van de bouwfase). De in te stellen hoogleraren/universitair docenten en lectoren in Actie 2.1 spelen een rol in de uitwerking van deze actie.
- **Rollen van stakeholders binnen deze actielijn**:
  - Rol HCA-werkgroep: het coördineren en monitoren van deze acties en het opzetten van het *kennisplatform* met onderwijs en sector. Daarnaast het verbinden van partijen voor de uitvoering. Waar uitdagingen ontstaan kan de HCA-werkgroep een rol spelen in het oplossen van deze uitdagingen.
  - Rol overheid: financiering beschikbaar stellen voor de ontwikkeling van bovengenoemde onderwijsposities, platforms, programma's en opleidingen. Tevens kunnen ambtenaren zelf ook actief deelnemen in het *kennisplatform* en wellicht een rol vervullen in het '*train-the-trainer*'-programma ten aanzien van wet- en regelgeving. De ingestelde onderwijsposities gaan gepaard met onderzoek, daarom zou de overheid ook (praktijk)onderzoek kunnen afnemen of financieren voor deze onderzoekers. Dit zou via het kennis- en innovatieprogramma van het MMIP Kernenergie kunnen lopen.
  - Rol sector (incl. projectorganisatie, *vendor* en *operator*): kenbaar maken van de concrete kennisbehoeftes, de vraag naar (praktijk)onderzoek kenbaar maken en meehelpen bij de invulling van het '*train-the-trainer*'-programma en deelnemen in het *kennisplatform*. Het afnemen van (praktijk)onderzoek en het leveren van deeltijddocenten (lectoren, practoren).
  - Rol onderwijs: indienen van voorstellen voor de invulling van bovengenoemde onderwijsposities aansluitend op de kennis- en onderzoeksbehoefte van de kernenergiesector. Het inrichten van het '*train-the-trainer*'-programma met de kernenergiesector en deelnemen aan dit programma en het kennisplatform. Het uitvoeren van haalbaarheidsstudies voor een nucleaire master(track)- en AD-opleiding en het vormgeven van deze opleidingen bij voldoende haalbaarheid of alternatieven daarvoor bij onvoldoende haalbaarheid.

6.3.3 *Actielijn 3: Het vergroten van het aanbod van onderwijs en training voor de kernenergiesector*

In scenario 2 schatten we de vraag naar mbo-opgeleid personeel op gemiddeld zo'n 2.500 FTE/jaar en de vraag naar hbo- of wo-opgeleid personeel op gemiddeld zo'n 900 FTE/jaar in de periode 2025-2040 (zie navolgende tabel voor de geschatte vraag naar opleiding). Deze vraag is vooral regionaal en strekt zich uit over een periode van 15 jaar. Dat maakt dat opleiding en training, vooral in de regio waar de vraag is, een relevante rol kan spelen in het leveren van human capital voor de kernenergiesector. Om aan deze vraag te voldoen moet echter het aanbod van onderwijs en training voor de kernenergiesector versterkt worden.

Aspecten		**Nu (2024)**	**2025-2030**	**2030-2035**	**2035-2040**	**2040-2045**	**2045-2050**
Fases in scenario 2		**Voorbereiding**	**Realisatie 2+2 Generatie-III+-kerncentrales**			**Operatie 5 kerncentrales**	
Totale geschatte vraag		**~310 FTE**	**~14.250 FTE**	**~24.230 FTE**	**~14.660 FTE**	**~2.530 FTE**	**~1.400** FTE
Opleiding	*Mbo*	~140 FTE	~10.400 FTE	~17.930 FTE	~10.750 FTE	~1.420 FTE	~630 FTE
	Hbo	~170 FTE	~3.850 FTE	~6.300 FTE	~3.910 FTE	~1.110 FTE	~770 FTE
	Wo						

Technopolis (2024) NB: deze getallen zijn modelmatige schattingen die een indicatie geven van de omvang van de vraag. De nauwkeurigheid van deze getallen is beperkt.

Wij bevelen de volgende acties aan:

- **Actie 3.1**: Ontwikkel centraal/gezamenlijk (met ondersteuning van de *Nuclear Academy*) keuzeonderdelen op het gebied van nucleaire technologie, kernenergie, straling, kwaliteit en veiligheid in het technisch onderwijs op het mbo en hbo in regio's waar zich grote werkgevers in de kernenergiesector (zullen gaan) bevinden.
- **Actie 3.2:** Ontwikkel voor het technisch onderwijs op het hbo en mbo lespakketten op het gebied van veilig werken, veiligheidscultuur, werken onder/met toezichthouders, het behalen van zeer hoge technische kwaliteitseisen en het managen van complexe langjarige technische projecten. Deze kennis is relevant voor veel technische sectoren en vormt een goede basis voor instroom in de kernenergiesector. De lespakketten kunnen vervolgens binnen het technische onderwijs geïntegreerd worden.
- **Actie 3.3**: Zet in op omscholing door het ontwikkelen van een programma voor omscholing van krimpende technische sectoren (bijv. de fossiele energie-industrie of milieubelastende industrie) naar de kernenergiesector. Ga daarvoor na wat het potentieel is in deze sectoren en hoe dit potentieel naar de kernenergiesector kan worden bewogen. De omscholingsbeurzen in Actie 1.3 kunnen ook hiervoor aangewend worden.
- **Actie 3.4**: Vergroot de capaciteit bij het post-initiële stralingsonderwijs, met name voor de deskundigenopleidingen stralingsbescherming. De huidige capaciteit is niet toegerust op groei. De uitdaging zit vooral bij het aantrekken van voldoende docenten en het creëren van voldoende leerplekken in de kernenergiesector.
- **Actie 3.5**: Richt met de *vendor* bedrijfsopleidingen op voor de bouw van nieuwe kerncentrales ('*centers of excellence*') zoals in het VK. Hier worden mensen bijgeschoold om kennis op te doen voor het werken aan de bouw van nieuwe kerncentrales. Daarbij gaat het bijvoorbeeld om aanvullende kennis en vaardigheden om aan de strenge kwaliteits- en veiligheidseisen te voldoen, kennis op het gebied van constructie (bijv. lassen) en installaties voor kerncentrales en het versneld trainen van mensen voor specifieke werkzaamheden. Hieraan kunnen ook Nederlandse onderwijsinstellingen bijdragen.

- **Actie 3.6**: Richt met de *operator* en *vendor* bedrijfsopleidingen op voor de operatie van nieuwe kerncentrales. Hier worden mensen getraind in o.a. de werking/bediening van de nieuwe kerncentrales (bijv. in een simulator van de *vendor*), de processen, veiligheidseisen, wet- en regelgeving die van toepassing zijn bij de operatie. Het eerste team voor de operatie van de nieuwe kerncentrales wordt via deze bedrijfsopleidingen door de *operator* en *vendor* opgeleid.
- **Rollen van stakeholders binnen deze actielijn**:
  - Rol HCA-werkgroep: het opzetten en coördineren van deze acties, partijen verbinden voor de uitvoering, en het monitoren van de voortgang van deze acties. Waar uitdagingen ontstaan kan de HCA-werkgroep een rol spelen in het oplossen van deze uitdagingen.
  - Rol overheid: financiering voor de ontwikkeling van keuzeonderdelen in het initiële onderwijs en omscholingsprogramma's. Afspraken maken met *vendors* en *operators* van nieuwe kerncentrales over het opzetten van bedrijfsopleidingen in samenwerking met onderwijsinstellingen.
  - Rol sector (incl. projectorganisatie, *vendor* en *operator*): oprichten, uitvoeren en financieren van bedrijfsopleidingen, bijdrage leveren aan de ontwikkeling van nieuwe onderwijsonderdelen en -programma's (o.a. helder vraagarticulatie) en leerplekken beschikbaar stellen voor post-initieel stralingsonderwijs.
  - Rol onderwijs: gezamenlijk ontwikkelen van keuzeonderdelen, lespakketten en omscholingsprogramma's met de sector en expertise bieden bij de ontwikkeling van bedrijfsopleidingen.

6.3.4 *Actielijn 4: Het versterken van de concurrentiepositie van de Nederlandse kernenergiesector op de (inter)nationale arbeidsmarkt*

De kernenergiesector concurreert op de arbeidsmarkt met andere sectoren in de techniek en energie. Veel van deze sectoren zijn bekender dan de kernenergiesector. Om de concurrentiepositie van de kernenergiesector op de arbeidsmarkt te vergroten, zijn acties noodzakelijk. Dat moet helpen de werving van human capital voor de kernenergiesector te vergemakkelijken. Human capital voor de kernenergiesector zal niet alleen uit Nederland komen. In scenario 2 zal voor de realisatie van nieuwe kerncentrales in de periode 2025-2040 naar schatting gemiddeld zo'n 1.300 FTE/jaar uit het buitenland moeten komen (zie navolgende tabel voor de geschatte vraaa naar herkomst). Dat is meer dan het geschatte gemiddelde van zo'n 1.000 FTE/jaar uit eigen land. Dat betekent dat de concurrentiepositie ten opzichte van andere landen voldoende sterk moet zijn, zeker gezien het feit dan er meerdere landen in Europa plannen hebben voor de bouw van nieuwe kerncentrales.

Aspecten		**Nu (2024)**	**2025-2030**	**2030-2035**	**2035-2040**	**2040-2045**	**2045-2050**
Fases in scenario 2		**Voorbereiding**	**Realisatie 2+2 Generatie-III+-kerncentrales**			**Operatie 5 kerncentrales**	
Totale geschatte vraag		**~310 FTE**	**~14.250 FTE**	**~24.230 FTE**	**~14.660 FTE**	**~2.530 FTE**	**~1.400** FTE
Herkomst	*Binnenland*	~280 FTE	~4.850 FTE	~7.870 FTE	~5.320 FTE	~2.060 FTE	~1.260 FTE
	Buitenland	~30 FTE	~5.410 FTE	~9.390 FTE	~5.400 FTE	~360 FTE	~140 FTE
	Vendor	- FTE	~3.990 FTE	~6.970 FTE	~3.940 FTE	~110 FTE	- FTE

Technopolis (2024) NB: deze getallen zijn modelmatige schattingen die een indicatie geven van de omvang van de vraag. De nauwkeurigheid van deze getallen is beperkt.

Wij bevelen de volgende acties aan:

- **Actie 4.1**: Draag als sector actief projecten, stages, casuïstiek, bezoeken en lezingen aan voor leerlingen (vo) en technische studenten (mbo, hbo, wo) zodat zij al tijdens hun opleiding in aanraking komen met de kernenergiesector. Hierdoor kan de concurrentiepositie van de nucleaire sector op de arbeidsmarkt verbeteren ten opzichte van grotere en meer bekende technische sectoren. Hierbij zou de *Nuclear Academy* mogelijk een ondersteunende rol kunnen spelen.
- **Actie 4.2/1.4**: Lanceer als sector een wervingscampagne voor de Nederlandse kernenergiesector in binnen- en buitenland. Een deel van deze campagne zou gericht moeten zijn op studenten aan relevante binnen- en buitenlandse (technische) opleidingen (bijv. op het gebied van lassen, installatietechniek, nucleaire technologie, etc.). Landen met een negatief of onzeker nucleair perspectief, zoals Duitsland en België, en landen met een grote nucleaire sector, zoals Frankrijk, zien we als kansrijke landen om in te werven. Richt de wervingscampagne op baankansen, carrièreperspectief, interessante techniek en maatschappelijke relevantie.
- **Actie 4.3:** Zet een uitwisselings- of beurzenprogramma op voor studenten aan buitenlandse opleidingen die zich richten op de kernenergiesector. Beurzen maakt het mogelijk om Nederlandse studenten betaald aan buitenlandse opleidingen te laten studeren of om buitenlandse studenten nadien naar Nederland te halen. Uitwisseling kan het aanbieden van stages in Nederland omvatten of het volgen van delen van het onderwijs in Nederland. Dit versterkt de concurrentiepositie van de Nederlandse kernenergiesector en vergroot de instroom van (nucleair) technisch talent.
- **Rollen van stakeholders binnen deze actielijn**:
  - Rol HCA-werkgroep: het coördineren en monitoren van deze acties en het uitwerken en opzetten van het uitwisselings- of beurzenprogramma. Daarnaast het verbinden van partijen voor de uitvoering. Waar uitdagingen ontstaan kan de HCA-werkgroep een rol spelen in het oplossen van deze uitdagingen.
  - Rol overheid: inzetten van netwerken voor internationale werving, cofinancieren en uitvoeren van uitwisselings- en beurzenprogramma voor studenten aan relevante buitenlandse opleidingen, bijdragen aan projecten, stages, casussen, bezoeken en lezingen voor leerlingen en technische studenten.
  - Rol sector (incl. projectorganisatie, *vendor en operator*): opzetten en financieren van wervingscampagnes voor de Nederlandse nucleaire sector, bijdragen aan projecten, stages, casussen, bezoeken en lezingen voor leerlingen en technische studenten, cofinancieren van uitwisselings- of beurzenprogramma voor studenten aan relevante buitenlandse opleidingen en het aanbieden van stages voor buitenlandse studenten.
  - Rol onderwijs: inbedden van aangeboden projecten, stages, casussen, bezoeken en lezingen op het gebied van kernenergie in technisch onderwijs, uitwisselingen van studenten binnen het uitwisselingsprogramma.

6.3.5 Roadmap

In voorgaande secties hebben we de doelen van de HCA Kernenergie vertaald naar actielijnen (subdoelen). Per actielijn hebben we acties geformuleerd en aangegeven welke rol stakeholders binnen de actielijn spelen. De tijdsdimensie en de afhankelijkheden van deze acties hebben we niet beschreven, maar visualiseren we in de vorm van een roadmap. Deze roadmap is weergegeven voor actielijnen 1 en 2 in Figuur 31 en voor actielijnen 3 en 4 in Figuur 32. In de roadmap hanteren we wederom scenario 2 (welke het beleid van Kabinet Schoof representeert) voor de tijdlijnen en vraag.

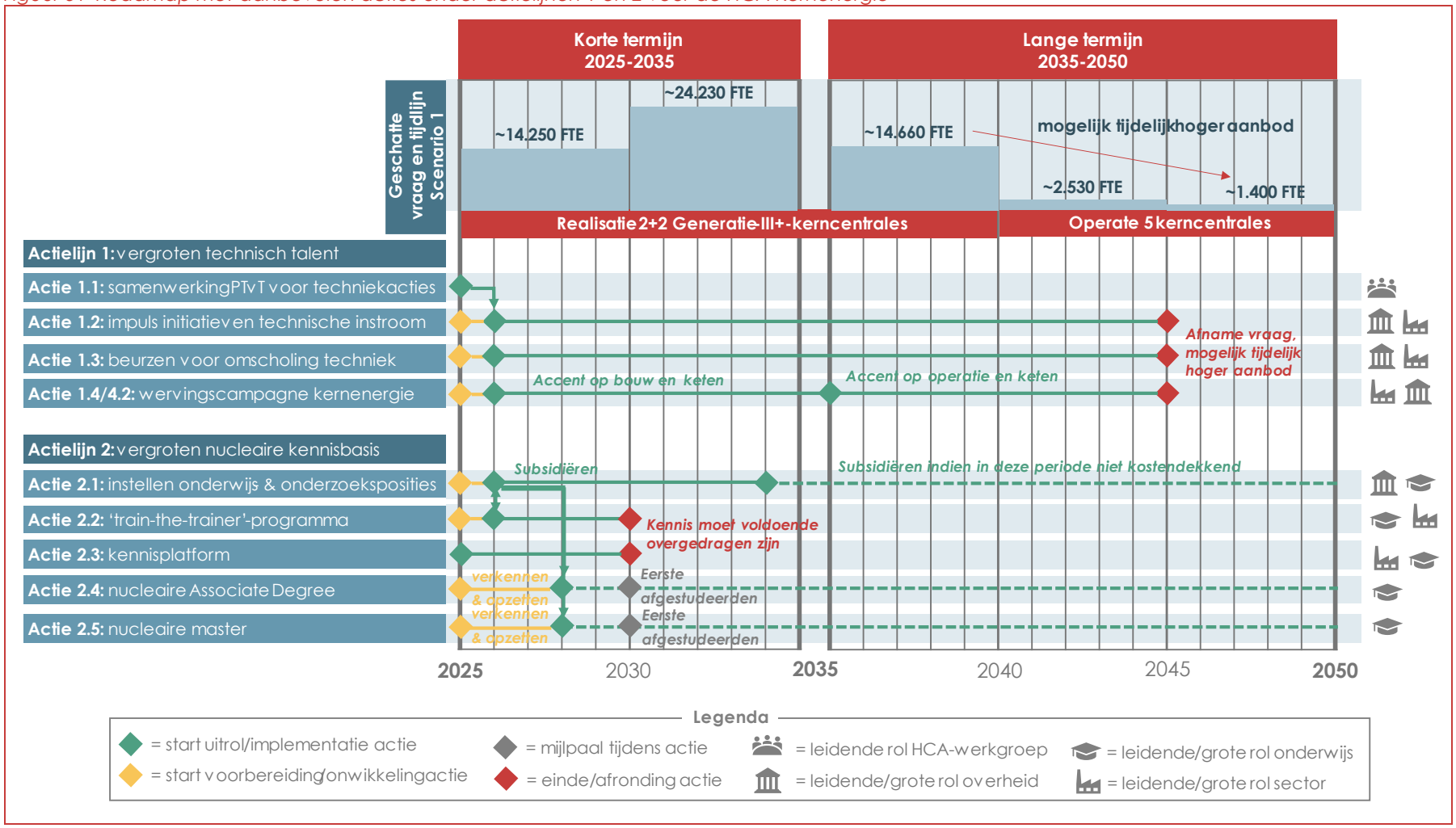
Uit de roadmap wordt duidelijk dat veel acties al snel van start moeten gaan om tijdig voldoende aanbod te hebben. In scenario 2 begint de realisatiefase al in 2025 en zal de vraag naar personeel snel fors toenemen. Het is daarom belangrijk om zo snel mogelijk te starten met het voorbereiden van de meeste acties, aangezien het meestal een aantal maanden of jaren zal duren voordat acties geïmplementeerd kunnen worden of effect sorteren.

Om dat te kunnen doen, is het essentieel dat er zo snel mogelijk (uiterlijk Q1 2025) een HCA-werkgroep wordt ingericht en er zo snel mogelijk met alle stakeholders overeenstemming is over de doelen en acties (zie sectie 6.1). Daarvoor zijn er ook voldoende middelen nodig en een sterk commitment van alle stakeholders, omdat er voor elke stakeholder acties zijn waarin zij een leidende of grote rol zouden kunnen hebben. Ook deze betrokkenheid van stakeholders is weergeven in navolgende figuren met de roadmap.

Veel acties kunnen parallel uitgevoerd worden. Desalniettemin zijn er een aantal acties die afhankelijk zijn van andere acties. Zo zou een eventuele samenwerking met Platform Talent voor Techniek gebruikt kunnen worden voor het opzetten van initiatieven om een impuls te geven aan de technische instroom en is het instellen van diverse onderwijs- en onderzoeksposities een voorwaarde voor het kunnen verzorgen van een *AD- of* master-opleiding en het aanbieden van keuzeonderdelen in het onderwijs.

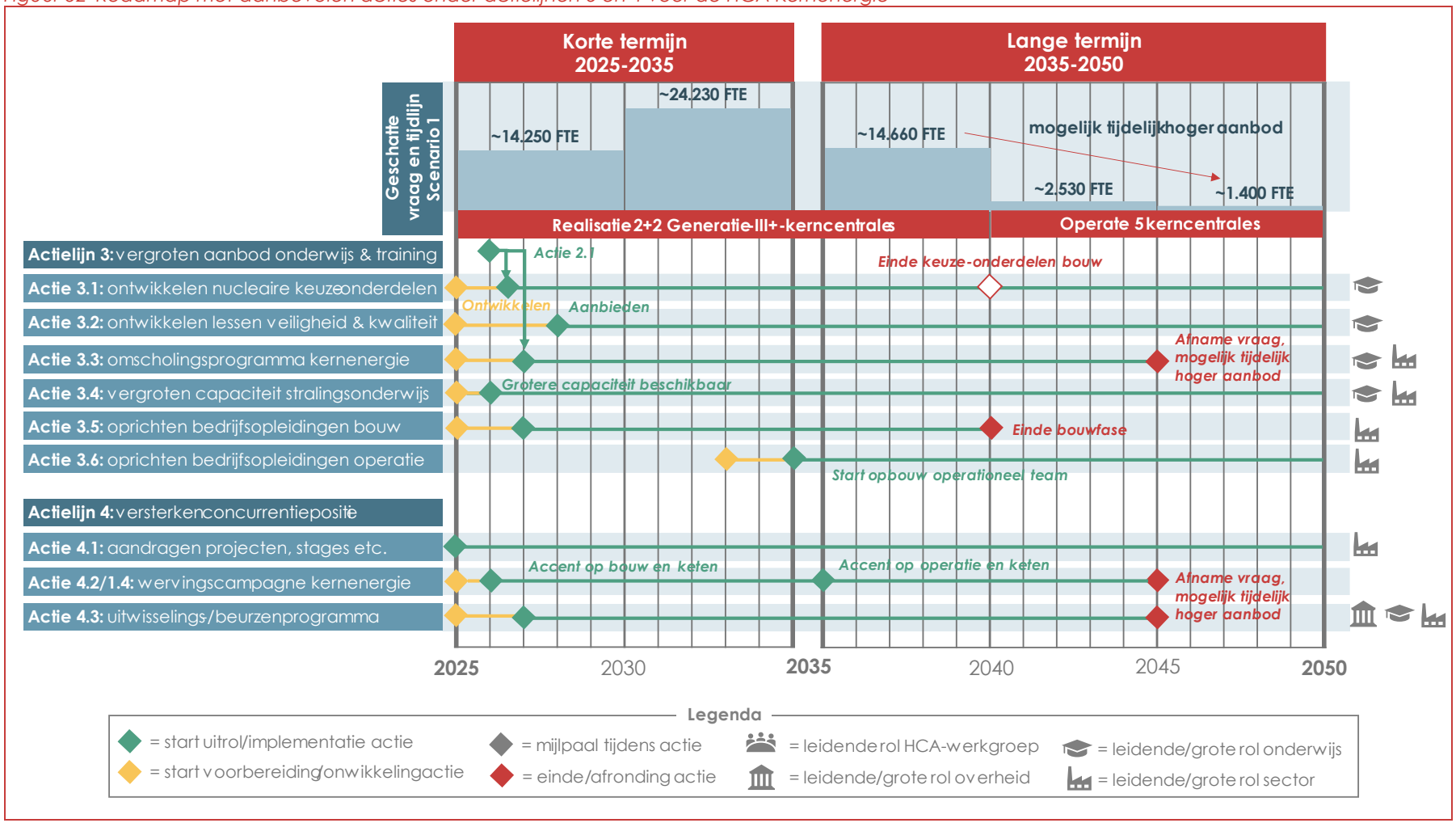
Een deel van de acties zal tijdens de realisatie van nieuwe kerncentrales of de operatie ervan eindigen. Het '*train-the-trainer*'-programma en het kennisplatform zijn alleen voor de relatief korte termijn om de kennisbasis te vergroten. Zodra er meer mensen met kennis zijn in de kernenergiesector en het onderwijs, worden deze acties minder relevant. Zodra de operationele fase start, zal de vraag naar human capital afnemen en kan er tijdelijk meer aanbod zijn van human capital met de juiste kwalificaties. Daarom zullen een aantal acties ook rond die periode stoppen. Andere acties zullen zich tegen 2035 meer gaan richten op de operatie van kerncentrales, terwijl acties die zich richten op de bouw dan zullen stoppen.

Figuur 31 Roadmap met aanbevolen acties onder actielijnen 1 en 2 voor de HCA Kernenergie



Technopolis (2024) NB: de cijfers in deze figuur geven de vraag naar arbeid weer, niet de omvang van de sector.

Figuur 32 Roadmap met aanbevolen acties onder actielijnen 3 en 4 voor de HCA Kernenergie



Technopolis (2024) NB: de cijfers in deze figuren geven de vraag naar arbeid weer, niet de omvang van de sector.

6.4 Afhankelijkheden/randvoorwaarden

- **Bijwerken en nadere uitwerking van de vraag zodra *vendor* en *operator* bekend zijn.**

  Deze roadmap is versie 0. Het is de bedoeling dat op deze roadmap wordt voortgebouwd en dat deze wordt bijgesteld aan de hand van nieuwe en specifiekere informatie zodra deze beschikbaar komt. Twee momenten waarop dit in elk geval moet gebeuren zijn de momenten waarop de *vendor* en de *operator* bekend zijn. De *vendor* heeft op basis van de technische haalbaarheidsstudies en eerdere ervaringen een beeld bij hoeveel en wat voor soort human capital er nodig zal zijn voor de realisatie van de kerncentrales. Deze inschattingen zullen, in combinatie met de modellen van het IAEA, gebruikt moeten worden om de vraag verder te specificeren en aan te scherpen. In het geval dat de *operator* een andere partij zal zijn dan de *vendor,* zal deze partij ook meer inzicht moeten kunnen geven in het aantal en type verwachte werknemers.

- **Afspraken met de *vendor* over de economische baten voor Nederland, het personeel dat zij meenemen en de rol van de *vendor* op het gebied van human capital**.

  Deze afspraken moeten realistisch zijn. Dat betekent dat afspraken over het creëren van banen in Nederland uitvoerbaar moeten zijn gezien de beperkte beschikbaarheid van human capital. Daarnaast kunnen afspraken over de betrokkenheid van de *vendor* bij de ontwikkeling van human capital in Nederland (opleiding, training, werving) en de inbreng van eigen personeel helpen om human capital uitdagingen te verlichten.

- **Tijdlijnen en keuzes voor de bouw van kerncentrales in Nederland.**

  De tijdlijnen voor en keuzes over de bouw van nieuwe kerncentrales zijn van invloed op de human capital vraag en de momenten waarop human capital acties moeten plaatsvinden. Omdat de tijdlijnen nu nog niet zeker zijn en er nog geen heldere human capital vraag is of een grote vragende partij, leidt dat tot afwachtendheid van partijen op het gebied van human capital doordat er nu nog geen duidelijke business case voor human capital investeringen is. Anderzijds leidt het uitblijven van human capital acties ook tot vertraging voor de realisatie van nieuwe kerncentrales.

- **Planning en efficiëntie van de bouw van meerdere kerncentrales in Nederland**

  Het plannen van de bouw van vier kerncentrales kan efficiënt plaatsvinden als het personeel van het ene project naar het andere kan gaan zonder een periode van inactiviteit. Daarmee voorkom je verlies van human capital. Een efficiënte planning kan de verwachte vraag naar human capital tijdens de bouwfase met naar schatting zo'n 35% verlagen. Daarvoor zou 12-18 maanden tussen de start van twee bouwprojecten moeten zitten.

- **Economische ontwikkeling van technische/concurrerende sectoren in Nederland en Europa**

  De ontwikkeling van de economie is lastig te voorspellen over een lange periode. We gaan ervanuit dat de economie op zijn minst stabiel blijft. Op het moment dat er een recessie in technische/concurrerende sectoren plaats zal vinden, kan dat ertoe leiden dat er meer technisch geschoold personeel beschikbaar komt op de arbeidsmarkt in Nederland of elders in Europa. Daardoor kan het zijn dat er minder actie nodig is, omdat het makkelijker wordt om geschikt personeel voor de Nederlandse kernenergiesector aan te trekken.

Bijlage A Type functies en bijbehorend opleidingsniveau tijdens bouwfase en operationele fase o.b.v. JRC Taxonomy

A.1 Bouwfase

Tabel 3 Type functies tijdens verschillende stadia van de bouwfase en bijbehorend opleidingsniveau voor kennisvaardigheden

Type functies per bouwstadium	Mbo niveau 2/3	Mbo niveau 4/AD	Bachelor hbo/wo	Master hbo/wo	PhD
SAFETY ASSESSMENT					
Nuclear Safety Manager			■	■	
Safety Assessment Specialist			■	■	
Safety Design Engineer			■	■	
SITE LOCATION					
Environmental Expert		■	■		
Geological Expert			■	■	■
Licensing Manager			■	■	
Site Characterisation Manager		■	■		
DESIGN					
Civil Design Engineer		■	■		
Civil Technical Draughtsman	■	■			
Design Manager			■	■	
Electrical Design Engineer		■	■	■	
Electrical Technical Draughtsman	■	■			
HVAC Design Engineer		■	■	■	
HVAC Technical Draughtsman	■	■			
I&C Design Engineer		■	■	■	
I&C Technical Draughtsman	■	■			
Mechanical Design Engineer		■	■	■	
Mechanical Technical Draughtsman	■	■			
System Design Engineer		■	■	■	
CONSTRUCTION					
Civil Construction Engineer		■	■	■	
Civil Construction Technician	■	■			

Type functies per bouwstadium	Mbo niveau 2/3	Mbo niveau 4/AD	Bachelor hbo/wo	Master hbo/wo	PhD
Civil Construction Worker	■				
Construction Project manager		■	■	■	
Electrical Construction Engineer		■	■		
Electrical Construction Technician	■	■			
Electrical Construction Worker	■				
Electrical Discipline Engineer	■	■			
Environmental Manager		■	■	■	
HVAC Construction Engineer		■	■	■	
HVAC Construction Technician	■	■			
I&C Construction Engineer		■	■	■	
I&C Construction Technician	■	■			
I&C Construction Worker	■				
I&C Discipline Engineer		■	■	■	
Mechanical Construction Engineer		■	■	■	
Mechanical Construction Technician	■	■			
Mechanical Construction Worker	■				
Mechanical Discipline Engineer		■	■	■	
Occupational Safety Manager		■	■	■	
Quality Control Technician		■	■		
Quality Manager		■	■		
Transverse Engineer		■	■	■	
Welder	■	■			
COMMISSIONING					
Civil Commissioning Engineer		■	■	■	
Commissioning Manager			■	■	■
Electrical Commissioning Engineer		■	■	■	
I&C Commissioning Engineer		■	■	■	
Licensing Manager			■	■	
Mechanical Commissioning Engineer		■	■	■	
NI System Commissioning Engineer		■	■		

Technopolis (2024) op basis van Chenel Ramos, C. (2018). Nuclear Job Taxonomy. Final Report. A competence-oriented classification of jobs in nuclear power plants. Luxembourg: JRC.

Toelichting: AD = Associate Degree. PhD = wetenschappelijke promotie. I&C = Instrumentation & Control. HVAC = Heating, Ventilation & Air Conditioning,

A.2 Operationele fase

Tabel 4 Type functies tijdens de operationele fase gegroepeerd per domein en bijbehorend opleidingsniveau voor kennisvaardigheden

Type functies per domein	Mbo niveau 2/3	Mbo niveau 4/AD	Bachelor hbo/wo	Master hbo/wo	PhD
NUCLEAR OPERATIONS AND WASTE MANAGEMENT					
Engineering Manager			■	■	
Licensing Officer		■	■	■	
Operation Manager			■	■	
Plant Manager			■	■	
Production Manager			■	■	
Quality Assurance Officer		■	■	■	
Training Officer		■	■	■	
OPERATORS IN CONTROL ROOM					
Senior Reactor Operator		■	■		
Shift Engineer		■	■		
Turbine Operator		■			
OPERATORS IN THE FIELD					
Field Operator Technician	■	■			
Field Operator Worker	■				
WASTE MANAGEMENT & RP					
Radiation Protection Officer		■	■		
Radiation Protection Worker	■	■			
WM&RP Manager		■	■		
CHEMISTRY					
Chemistry Manager			■	■	
Chemistry Supervisor		■	■		
Chemistry Technician	■	■			
SAFETY AND SECURITY					
Fire Protection Supervisor		■	■		
Fire Protection Worker	■	■			
Industrial Safety Technician		■			
Safety and Security Manager			■	■	

Type functies per domein	Mbo niveau 2/3	Mbo niveau 4/AD	Bachelor hbo/wo	Master hbo/wo	PhD
MAINTENANCE					
Civil Engineering Technician		■			
Electrical Supervisor		■	■		
Electrical Technician	■	■			
Electrical Worker	■				
Electronic-I&C Supervisor		■	■		
Electronic-I&C Technician	■	■			
Electronic-I&C Worker	■				
Maintenance Manager			■	■	
Maintenance Planning Officer		■	■		
Mechanical Maintenance Technician	■	■			
Mechanical Supervisor		■	■		
Mechanical Worker	■				
Welder	■				
ENGINEERING					
Civil Design Engineer		■	■	■	
Electrical Design Engineer		■	■	■	
I&C Design Engineer		■	■	■	
Mechanical Design Engineer		■	■	■	
Reactor Physicist				■	■

Technopolis (2024) op basis van Chenel Ramos, C. (2018). Nuclear Job Taxonomy. Final Report. A competence-oriented classification of jobs in nuclear power plants. Luxembourg: JRC.
Toelichting: AD = Associate Degree. PhD = wetenschappelijke promotie.

Bijlage B Verantwoording

B.1 Onderzoeksvragen

#	Onderzoeksvraag	Link naar hoofdstuk
A	**VRAAG: de vraag naar medewerkers, onderwijs, kennis en expertise binnen de kernenergiesector**	
1	Welke vraag naar medewerkers was er bij (recente) nieuwbouwprojecten voor kerncentrales in het Verenigd Koninkrijk en Frankrijk?	2
2	Wat is de vraag naar mbo-, hbo- en wo-geschoolde medewerkers bij bedrijven en overheden in de Nederlandse kernenergiesector in de periode 2024-2035?	2, 4
2.1	Wat is deze vraag in de periode 2024-2035 uitgesplitst naar opleidingsniveau, type functie, expertise/vakgebieden en per type organisatie?	2, 4
3	Wat is de globaal geschatte vraag naar mbo-, hbo- en wo-geschoolde medewerkers bij bedrijven en overheden in de Nederlandse kernenergiesector in de periode 2035-2050?	2, 4
3.1	Wat is deze vraag in de periode 2035-2050 uitgesplitst naar opleidingsniveau, type functie, expertise/vakgebieden en per type organisatie?	2, 4
4	Wat is de verwachte uitstroom van personeel in de kernenergiesector?	2
5	Welke kennis en expertise ontbreekt er momenteel bij bedrijven en overheden in de kernenergiesector?	2
5.1	In welk deel van de vraag naar kennis en expertise kunnen bedrijven en overheden zelf voorzien?	2
5.2	Welk deel van de vraag naar kennis en expertise moet door het onderwijsveld geleverd worden?	2
6	Welke vraag is er naar opleiding en training op mbo-, hbo- en wo-niveau?	2, 4
B	**AANBOD: het aanbod van talent, onderwijs, kennis en expertise vanuit onderwijsinstellingen**	
7	Welke opleidingen, kennis en expertise die de kernenergiesector vraagt zijn reeds aanwezig bij onderwijsinstellingen (en kunnen gebruikt worden voor het inrichten van relevant onderwijs)?	3
7.1	Wat zijn bestaande onderwijslijnen en programma's op het gebied van nucleaire techniek, stralingsveiligheid en kernenergie?	3
7.2	Welke ontwikkeling in deze onderwijslijnen en -programma's zijn er al voorzien of in gang gezet?	3
8	Wat is de in- en uitstroom van studenten bij opleidingen waarnaar vraag is bij organisaties in de kernenergiesector?	3
8.1	Waar komen studenten terecht bij deze opleidingen?	3
9	Welke drijfveren en barrières ervaren onderwijsinstellingen voor het opbouwen van kennis en expertise en het inrichten van onderwijs dat zich specialiseert op het gebied van nucleaire techniek, stralingsveiligheid en kernenergie?	3, 4
10	Welke factoren belemmeren het aanbod van medewerkers voor de kernenergiesector?	3, 4
11	Welke acties op het gebied van aanbod zijn er ondernomen bij (recente) nieuwbouwprojecten voor kerncentrales in het Verenigd Koninkrijk en Frankrijk?	3
C	**MATCH VRAAG & AANBOD: roadmap met acties om vraag en aanbod op elkaar aan te laten sluiten**	

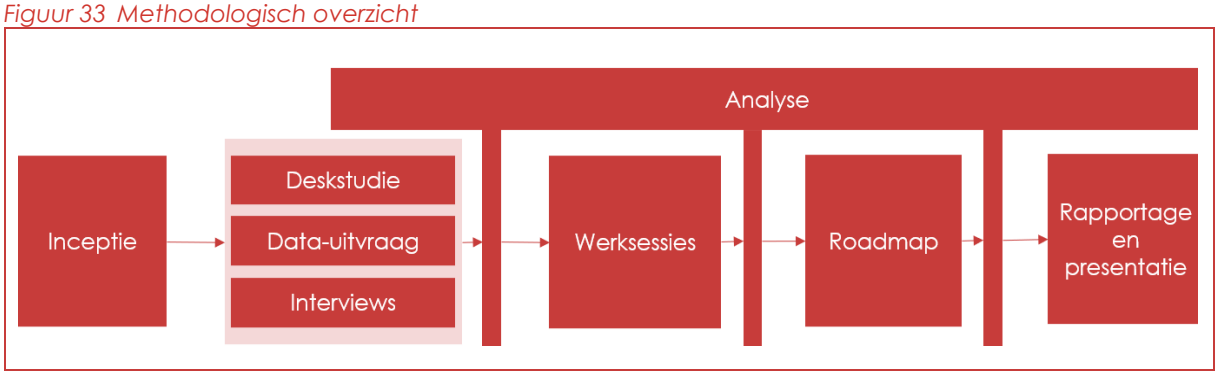
#	Onderzoeksvraag	Link naar hoofdstuk
12	Welke ontwikkelingen in het onderwijsveld zijn er nodig om in de vraag van de kernenergiesector te voorzien?	5, 6
12.1	Welke expertise en vakgebieden zijn er bij onderwijsinstellingen nodig om in de vraag naar kennis en expertise door organisaties in de kernenergiesector te voorzien?	3, 5, 6
13	Welke acties kunnen door de overheid of betrokkenen bij de HCA Kernenergie ondernomen worden om vraag en aanbod beter op elkaar af te stemmen?	6
13.1	Wat is de haalbaarheid van deze acties?	6 (alleen haalbaar na validatie meegenomen)
13.2	Wanneer moeten deze acties plaatsvinden?	6
13.3	Wie moet deze acties uitvoeren/initiëren?	6

Technopolis (2024)

B.2 Aanpak en methoden

Figuur 33 geeft een schematisch overzicht van onze gebruikte aanpak. Deze bestond uit een iteratief proces van datacollectie en -analyse. Dat wil zeggen dat we meerdere tussentijdse analyses uitvoerden als input voor het volgende werkpakket. Een overzicht van de geraadpleegde stakeholders in de interviews, data-uitvraag en werksessies wordt gegeven in sectie B.3.

Figuur 33 Methodologisch overzicht



Technopolis (2024)

De conclusies in dit rapport zijn opgesteld op basis van een synthese van de belangrijkste bevindingen en gaan in op de onderzoeksvragen. Op basis van deze conclusies zijn de aanbevelingen opgesteld. Tijdens een werksessie met stakeholders van zowel de vraag- als aanbodkant zijn deze aanbevelingen gevalideerd en in een tijdslijn geplaatst om zo een roadmap te creëren voor human capital in de kernenergiesector. Dat diende als input voor de verdere uitwerking van de aanbevelingen en roadmap. Nadien zijn deze aanbevelingen met de opdrachtgever nader aangescherpt en hebben we op verzoek deze met een grove modelmatige inschatting verder geconcretiseerd en in de tijd geplaatst.

B.2.1 Gebruik en interpretatie van data

We hebben data opgevraagd van huidige organisaties in de kernenergiesector en relevante onderwijsorganisaties. Niet alle partijen konden de gevraagde informatie aanleveren. Ook konden we niet alle partijen benaderen: gezien de voorbereidingen voor de aanbesteding

van nieuwe kerncentrales was het niet mogelijk om *vendors* om data te vragen, bovendien is er nog geen projectorganisatie die de bouw voorbereidt of een *operator* voor de toekomstige kerncentrales die we konden raadplegen. We hebben daarom inschattingen moeten maken:

- Op basis van literatuur en vergelijking met buitenlandse projecten (o.a. Hinkley Point C). Dit geeft een indicatie. Betere inzichten zijn vermoedelijk te krijgen in samenwerking met de *vendor* en op basis van modellen van de IAEA die niet voor ons beschikbaar zijn.
- Incomplete data zijn – waar essentieel – aangevuld op basis van andere bronnen (interviews of literatuur) of volgens de aanname dat waardes voor nu in de toekomst stabiel zullen blijven. Die aanname geeft in de context van deze studie een conservatieve inschatting (onderschattingen).
- Het is onduidelijk in hoeverre het Nederlandse bedrijfsleven ingezet gaat worden bij de bouw van of in de toeleveringsketens van nieuwe kerncentrales. Dit hangt o.a. af van de afspraken die hierover met de *vendor* worden gemaakt. Benaderde ketenpartijen zagen momenteel nog geen rol voor hen weggelegd en hebben we daarom slechts zeer beperkt kunnen betrekken in de studie. De indirecte behoefte aan personeel kon daardoor niet expliciet worden meegenomen.
- Voor SMR's is nog veel onduidelijk, omdat dit een nieuwe ontwikkeling is. De gebruikte data zijn vooral afkomstig uit de literatuur en uit interviews. Gezien de nieuwe ontwikkeling, zit er een grotere onzekerheid in deze data. Hierbij speelt mee in hoeverre onderdelen voor SMR's in Nederland (prefab) gefabriceerd zullen worden naast de daadwerkelijke bouw van deze SMR's.
- Om grove inschattingen te maken, is een excelmodel ontwikkeld die gebruikt maakt van inschattingen, aannames, input uit interviews en opgevraagde en publieke data (o.a. van EDF over Hinkley Point C). Deze grove inschattingen zijn op verzoek gemaakt, maar gaan gepaard met onzekerheden. Daarom zien we dit als eerste inschattingen die op een later moment verfijnd moeten worden.

B.3 Geraadpleegde organisaties

Organisatie	**Betrokkenheid**[105]
ANVS	Interview, data-uitvraag, werksessies
BAM	Werksessie
Breda University of Applied Sciences	Werksessie
COVRA	Interview, data-uitvraag, werksessies
Delmeco	Werksessie
EDF	Interview
EPZ	Interview, werksessies
Finse ministerie van Economische Zaken en Werkgelegenheid	Interview
Framatome	Interview
HAN University of Applied Sciences	Werksessie

[105] Hier staan alleen de activiteiten vermeld waaraan een organisatie daadwerkelijk een bijdrage heeft geleverd. Als een organisatie wel is uitgenodigd voor een activiteit, maar daar niet aan heeft deelgenomen/bijgedragen, is dat niet opgenomen in dit overzicht.

Organisatie	Betrokkenheid[105]
Hogeschool Rotterdam	Werksessies
Hogeschool Zeeland	Interview, werksessies
I2EN	Interview
KHNP	Interview
MBO Raad	Interview
Ministerie I&W	Interview, werksessie
Ministerie KGG	Interview, data-uitvraag, werksessies, stuurgroep
NRG & *Nuclear Academy*	Interview, data-uitvraag, werksessie
Nuclear Academy	Interview, data-uitvraag, werksessie
Regieorgaan SIA	Werksessies
ROC Twente	Werksessie
RUG	Interview, data-uitvraag, werksessies
Saxion	Interview
Scalda	Interview, werksessie
Techniek College Rotterdam	Interview, data-uitvraag, werksessies
Thorizon	Interview, data-uitvraag
TU Delft	Interview, data-uitvraag
ULC-Energy	Werksessie
Urenco	Interview, data-uitvraag, werksessies
Vereniging Hogescholen	Interview
Vonk	Werksessies
Westinghouse	Interview



technopolis group

www.technopolis-group.com