

MMIP Kernenergie in een CO₂-vrije energievoorziening in 2050

December 2023

1. Inleiding

De Nederlandse nucleaire sector vindt zijn oorsprong in de zestiger en zeventiger jaren van de vorige eeuw met de realisatie van een aantal reactoren voor energieproductie en onderzoek. In de daarop volgende decennia is er vanwege het ontbreken van noodzaak (ten gevolge van de aanzienlijke aardgas voorraden) in combinatie met maatschappelijke weerstand, niet langer ingezet op het verder uitbreiden van het aandeel kernenergie in de energiemix.

Om in de toekomst CO₂-neutraal elektriciteit op te wekken, heeft het kabinet in 2021 aangegeven een rol te zien voor kernenergie in de energiemix. Om die reden is het beleid sindsdien gericht op het langer in bedrijf houden van de huidige kerncentrale in Borsele en worden er voorbereidingen getroffen voor de bouw van twee nieuwe kerncentrales. Voor de realisatie van deze ambities is structurele waarborging en versterking van de nucleaire kennisinfrastructuur in Nederland onmisbaar.

Dit betekent dat naast investeringen in nieuwe nucleaire installaties, de hernieuwde ambitie op kernenergie ook om forse investeringen in het (her)opbouwen van een toepasselijk opgeleide *workforce* vraagt. Het opleidingsaanbod in Nederland is flink afgeschaald en er is de laatste decennia onvoldoende aanwas van afgestudeerden geweest. Ook op het gebied van kennisontwikkeling en innovatie is de laatste decennia zeer bescheiden geïnvesteerd waardoor er effectief sprake is van een structurele krimp. Ook op dit vlak zijn langjarige structurele investeringen essentieel.

Hiertoe is een Kennis en Innovatie agenda en een Meerjarig Missie-gedreven Innovatie Programma (MMIP) opgezet met als doel de achterstanden op zowel het vlak van 'Human Capital' als kennis en innovatie in te lopen en voorwaarden te scheppen voor een nucleair landschap met perspectief voor de nabije maar ook de verder weg gelegen toekomst. Bij de opzet, het onderhoud en de monitoring van dit MMIP is een belangrijke rol voorzien voor een 'Missie Innovatie team' (MI team). Dit adviserend orgaan, met vertegenwoordigers van overheden, bedrijfsleven en kennisinstellingen, brengt gevraagd en ongevraagd advies uit over de voortgang, de kennisagenda en andere aspecten van belang voor de realisatie van de doelen van dit MMIP.

De missie van het MMIP is:

Het waarborgen en versterken van een toekomstbestendige nucleaire (kennis)-infrastructuur, onder andere door via dit MMIP gericht te investeren in onderwijs, onderzoek en innovatie. We richten ons daarbij niet alleen op de huidige technieken: via gerichte investeringen versterken we ook de kennis rondom nieuwe reactoren, die in 2050 een wezenlijk onderdeel kunnen zijn van een stabiele, CO₂-vrije energievoorziening. Daarbij is van belang dat er een breed scala aan technici en nucleaire experts wordt opgeleid op mbo-, hbo- en wo-niveau.

2. Opzet programma

Het MMIP Kernenergie kent twee deelprogramma's: de ontwikkeling van de zogenoemde "Human Capital Agenda" (HCA) en het onderdeel "Kennisontwikkeling en Innovatie". Dit document geeft een overzicht van de voorziene investeringsposten, verdeeld over drie opeenvolgende tijdsintervallen: 2024, de periode 2025-2026 en de periode 2027-2030. Het jaar 2024 geldt als een initiatie-, implementatie- en ontwikkelingsjaar en de periode 2025-2026 als de daadwerkelijke startfase van het programma. In de periode 2027-2030 moet het programma volledig operationeel zijn.

De uitwerking van de onderdelen van het MMIP kent verschillende abstractieniveaus. Het jaar 2024 is concreet uitgewerkt. De programma's voor de twee opvolgende tijdperiodes zijn globaler uitgewerkt. De daarbij aangegeven budgetten zijn dan ook een indicatie, waarbij verschuiving in de komende jaren in beginsel mogelijk is. In de volgende twee hoofdstukken worden de deelprogramma's HCA en Kennisontwikkeling en Innovatie verder uitgewerkt.

3. Deelprogramma ontwikkeling HCA

Context

Wanneer Nederland op een effectieve en veilige wijze nieuwe kerncentrales wil realiseren, is het van belang dat de kennisbasis en -infrastructuur die daarbij horen op orde zijn. Dat is op dit moment niet het geval. Allereerst bestaat er een tekort aan nucleaire experts. Maar het tekort betreft zeker niet uitsluitend die nucleair experts. Voor de bouw, het onderhoud en het beheer van reactoren is ook veel niet-nucleaire kennis nodig waaronder op het gebied van betonnen constructies, lastechnologie, procestechnologie, onderhouds-systemen onder extreme omstandigheden en bijvoorbeeld complex project management. Dit betekent dat er ook een grote behoefte is aan breder opgeleid technisch personeel op mbo-, hbo- en wo-niveau, dat voldoende is toegerust ('nuclearized') om in de nucleaire sector werkzaam te zijn.

De krapte op de arbeidsmarkt speelt ook internationaal, waardoor het nauwelijks meer mogelijk is om deze tekorten te dichten door middel van het importeren van die kennis. Een versterking van de kennisbasis en -infrastructuur is dus van groot belang om de hernieuwde nucleaire ambities van Nederland te kunnen bemensen, zowel op de korte als op de langere termijn.

Doelen 2024-2030

Het primaire doel van het deelprogramma HCA is het versterken van de nucleaire kennisbasis en -infrastructuur in zowel het onderwijs als het onderzoek op mbo-, hbo- en wo-niveau. Op academisch niveau betekent dit dat het onderwijs verder moet worden versterkt: er is weliswaar (nog) een basis maar die basis is niet toereikend voor de opschaling van de ambities op het gebied van kernenergie.

Op het hbo- en mbo-niveau is een dergelijke kennisbasis nagenoeg afwezig. Die kennisbasis moet in de komende periode vrijwel nog geheel worden opgebouwd. Van belang daarbij is dat er ook wordt ingezet op voldoende regionale spreiding in het toekomstige opleidings- en onderzoeks aanbod. Ook moeten er omscholings/bijcholingsmogelijkheden voor zij-instromers worden gecreëerd, zoals bijvoorbeeld voor technici en energie-experts die al in de energiesector actief zijn en mogelijk geïnteresseerd zijn in een vervolg van hun loopbaan in het nucleaire domein.

Het deelprogramma HCA heeft als doel het onderwijsaanbod te vergroten, om op die manier bij te dragen aan het wegnemen van een deel van het tekort aan voldoende deskundig personeel en ook om een basis te creëren voor de invulling van de toekomstige behoefte aan deskundig personeel in de nucleaire sector. De HCA zal zoveel mogelijk aansluiten bij internationale ontwikkelingen en ervaringen.

Inzet op academisch niveau

De versterking van de kennisbasis op academisch niveau vraagt om een meerjarige aanpak. Het is noodzakelijk dat er voldoende onderwijs- en onderzoekspersoneel beschikbaar komt, met een eerste focus op wetenschappelijke staf en PhD-posities. Om deze versterking te realiseren wordt ingezet op:

- 1) Een versterking van de nucleaire kennisbasis van de Technische Universiteit Delft (TU Delft). Het gaat om zowel een uitbreiding van de wetenschappelijke staf (assistent/associate/full professors) als het creëren van een aantal nieuwe PhD-posities. De leerstoelen zijn gericht op: *nuclear energy technology (nuclear power plant design, energy conversion, thermodynamics, electricity/heat/hydrogen production), nuclear materials en nuclear reactor physics (innovative*

reactors, nuclear safety, advanced computation methods). Kennis op deze drie deelgebieden is essentieel voor de ontwikkeling en bouw van nieuwe kerncentrales en het up-to-date houden/brengen van wetenschappelijk onderzoek en onderwijs op nucleair gebied. Hiermee wordt al in 2024 gestart.

- 2) Een versterking van de kennispositie bij andere universiteiten en kennisinstellingen, zoals de TU Eindhoven, Rijksuniversiteit Groningen, Universiteit Utrecht, TU Twente en DIFFER. Implementatie/uitrol daarvan wordt voorzien vanaf 2025. In 2024 wordt een inventarisatiestudie uitgevoerd, die nauwkeuriger in kaart moet brengen welke specifieke kennisbehoefte er bij bedrijven en overheden precies is en welke investeringen daarvoor nodig zijn. Hierbij zal, waar relevant, gebruik worden gemaakt van onderzoek en ervaring van buiten Nederland. De uitkomsten van de inventarisatie worden gebruikt bij het opstellen van een roadmap voor het realiseren van de doelstellingen van het MMIP.
- 3) Een wetenschappelijk onderzoeksprogramma gericht op acht thema 's:
 1. Stralingsbescherming
 2. Systeemkennis (inpassing van kernenergie in het Nederlandse energiesysteem)
 3. Kennis over nucleaire reactor- en splijfstofcyclustechnologie
 4. Aan reactoren gerelateerde 'enabling' onderwerpen ('plant integrity', onderhoud onder extreme omstandigheden, enz.)
 5. Hogetemperatuur waterstofproductie
 6. Materiaalonderzoek, waaronder met behulp van nucleaire/ioniserende straling
 7. Verwerking en opslag radioactief afval en geologische eindberging
 8. Perceptie, communicatie en draagvlak

Dit wetenschappelijke programma strekt zicht uit over de periode 2024 tot 2030 en wordt gefaseerd geprogrammeerd. Insteek is dat het programma wordt opengesteld voor diverse soorten kennisinstellingen zoals universiteiten, hogescholen en TO2-instellingen (bijvoorbeeld TNO en NRG). Momenteel wordt gezamenlijk met NWO verkend hoe zij mogelijk kunnen bijdragen in de vormgeving en coördinatie van het programma. (zie ook hoofdstuk 'Deelprogramma Kennis & Innovatie').

Inzet op hbo-niveau

Ook het opzetten en versterken van een kennisbasis op hbo-niveau vraagt om een meerjarige aanpak. Hiervoor is het noodzakelijk dat er én voldoende lectoren worden aangesteld én er wordt ingezet op het inrichten van mogelijkheden voor praktijkgericht onderzoek. Om dit te realiseren worden de volgende activiteiten voorzien:

- 1) In 2024 wordt een inventarisatiestudie uitgevoerd die in aanvulling op eerdere studies nauwkeuriger in kaart moet brengen welke behoefte er bij bedrijven en overheden bestaat aan hbo-niveau geschoold personeel. Doel is om duidelijk te krijgen waar welke investeringen noodzakelijk zijn, welke acties er nodig zijn en wie hiervoor verantwoordelijk is. De bevindingen uit deze inventarisatie worden geadresseerd in de op te stellen roadmap voor de realisatie van de doelen van het MMIP.
- 2) Het benoemen van drie lectoren voor in eerste instantie een periode van vier jaar. Regieorgaan SIA is verantwoordelijk voor de uitvoering van dit traject. SIA zet hiervoor begin 2024 een *call for proposals* voor senior onderzoekers en lectoren aan hogescholen open waarbij de verwachting is dat alle drie de lectoren uiterlijk in 2025 ook daadwerkelijk benoemd zullen kunnen zijn. Doordat de lectoraten in samenwerking met partijen uit de nucleaire sector dienen te worden vormgegeven, inclusief co-financiering vanuit de betreffende sectorpartij, wordt geborgd dat er steeds een goede aansluiting van de lectoraten met de onderwijs- en (praktijkgerichte)

onderzoeksbehoeftes vanuit die sector is. Voor de periode 2027-2030 kan, na evaluatie, eventueel een nieuwe *call for proposals* worden uitgezet.

- 3) Het in nauwe samenwerking met het bedrijfsleven opzetten van een programma voor praktijkgericht onderzoek, dat gekoppeld is aan de drie te realiseren lectoraten. Ook hierbij wordt gebruikgemaakt van het instrumentarium van Regieorgaan SIA. Dit betreft de zogeheten KIEM en RAAK-projecten, waarbij KIEM-projecten zijn bedoeld voor verkennend onderzoek (grootte €40.000) en RAAK projecten, die een duur hebben van twee jaar, zijn bedoeld voor onderzoek samen met publieke en private partijen (budgetten tot €300.000). Er wordt financiering voorzien voor zes KIEM projecten, waarvan drie in 2024 en drie in 2025-2026. Daarnaast worden twee RAAK-rondes voorzien, waarvan de eerste in 2024.
- 4) Het opzetten van een lectorenplatform in de periode 2027-2030, zodat de benoemde lectoren zowel onderling als met lectoren, docent-onderzoekers en eventueel opleiders uit aanpalende kennisgebieden samenwerkingsmogelijkheden kunnen opzoeken.

Inzet op mbo-niveau

Net als op hbo-niveau is er ook op mbo-niveau op dit moment slechts zeer beperkt kennisinfrastructuur op het gebied van nucleaire technologie beschikbaar. Gezien de meer generalistische aard van het mbo-onderwijs is het zaak om daar met name binnen de bestaande structuren en studierichtingen faciliteiten te creëren die studenten kennis laten nemen van de nucleaire sector. Het MMIP richt zich om die reden op de inzet van zogenoemde practoren. Een practoraat is een expertiseplatform binnen een mbo-instelling waar praktijk(gericht) onderzoek wordt uitgevoerd, met als doel het verspreiden van kennis en innovatie en het opleiden tot innovatief vakman/vrouw. Een practoraat bestaat uit een 'kenniskring' met een practor en docent-onderzoekers. Ook docenten, studenten en partners vanuit het (regionale) bedrijfsleven worden actief betrokken. Op die manier wordt met zo'n practoraat geprobeerd een brug te slaan tussen onderwijs, onderzoek en het (regionale) bedrijfsleven. In Nederland zijn ten minste acht practoraten actief op het gebied van energietransitie en de inzet vanuit de sector in die practoraten is groeiend. Voor de periode 2024-2030 worden de volgende activiteiten voorzien:

- 1) In 2024 wordt een inventarisatiestudie uitgevoerd, die nauwkeuriger in kaart brengt welke behoefte er bij bedrijven en overheden is aan mbo-geschoolde medewerkers, nu en in de toekomst, welke mogelijkheden er zijn om deze doelen te behalen en welke investeringen er daarvoor nodig zijn. Deze studie moet tevens duidelijkheid geven over bij welke specifieke opleidingen mensen worden gezocht, in welke vakgebieden en in welke regio's. De resultaten van de inventarisatiestudie worden geadresseerd in de voor het MMIP op te stellen roadmap.
- 2) Het, in nauwe samenwerking met het bedrijfsleven, realiseren van drie practoraten voor een periode van vier jaar. Na een evaluatie, zal dit in de periode 2027-2030 worden herhaald.
- 3) Het in kaart brengen van behoeftes (welke en waar) aan practica en stages en practicum-opstellingen

Diversen

Naast gerichte financiële steun aan onderwijs op mbo, hbo en academisch niveau is er ook behoefte aan een entiteit welke onderwijs op het gebied van nucleaire technologie in brede zin, maar vooral op mbo- en hbo-niveau stimuleert en bevordert. Hiertoe is inmiddels door partijen uit de nucleaire sector (TU Delft en NRG) de zogenaamde '*Nuclear Academy*' opgericht. De Nuclear Academy zal zoveel mogelijk de ontwikkeling van nucleaire curricula in het mbo en hbo ondersteunen, onder andere middels het realiseren van onderwijspakketten, stagemogelijkheden, keuzedelen, minors, vakken en opleidingen. Daarnaast zal het volgens het 'teach-the-teacher'-principe ook docenten trainen/opleiden om zelf nucleair onderwijs te kunnen verzorgen. Ook worden er onder de vlag van

de Nuclear Academy trainings- en opleidingsmodules voor werknemers binnen de overheid ontwikkeld.

Begroting en overzicht

De volgende tabel geeft een overzicht van de hiervoor beschreven doelen, aanpak en een indicatieve begroting voor de drie onderscheiden periodes.

Human Capital Agenda	Doel 2024-2030	Inzet 2024	Budget Rijk 2024 (M€)	Inzet 2025-2026	Budget Rijk 2025-26 (M€)	Inzet 2027-2030	Budget Rijk 2027-30 (M€)
Academisch niveau	Upgraden onderwijs en onderzoekomgeving TUD	Aantrekken hoogleraren, overige staf	1,8	Aantrekken hoogleraren, overige staf	4,725	Uitbouwen volwaardige onderwijs en onderzoeksomgeving	7,575
	Realiseren nucleaire onderzoek en onderwijsomgeving in Nederland (overig)	Inventarisatie onderwijs/onderzoek behoefte		Aantrekken/opleiden onderwijs/onderzoekmedewerkers en faciliteiten	2	Uitbouwen volwaardige onderwijs en onderzoeksomgeving	3,5
	Versterken nucleaire kennispositie Nederland	Meerjarig wetenschappelijk onderzoekprogramma (WO) (zie Prio 2 Kennis en innovatie)	Zie tabel Kennis en innovatie	WO-programma (zie Prio 2 kennis en innovatie)	Zie tabel Kennis en innovatie	WO-programma (zie Prio 2 kennis en innovatie)	Zie tabel Kennis en innovatie
HBO niveau	Realiseren onderzoek en onderwijsomgeving	Lectoraten	0,3	Lectoraten, praktijkgericht onderzoeksprogramma	3,1	Lectoraten, praktijkgericht onderzoeksprogramma	3,2
MBO niveau		Inventarisatie behoefte aan onderwijs materiaal en opleidings/bijcholings mogelijkheden		Ontwikkelen vraag-gestuurd onderwijs materiaal en opleiden/bijcholen docenten		Ontwikkelen vraag-gestuurd onderwijs materiaal en opleiden/bijcholen docenten	
	Studenten kennis laten nemen van nucleaire sector	Opzetten practoraten in nauwe samenwerking met bedrijven uit de sector	1,2	Opzetten practoraten in nauwe samenwerking met bedrijven uit de sector	0,95	Opzetten practoraten in nauwe samenwerking met bedrijven uit de sector	1,2
Diversen		Nucleair Academy	Zie TNO/NRG R&D programma				
TOTAAL			3,3		10,775		15,475

4. Kennis en Innovatie Programma

Context

Nederland heeft de afgelopen decennia slechts mondjesmaat geïnvesteerd in de ontwikkeling van kennis en innovatie rond het thema kernenergie. Dit werd in sterke mate ingegeven doordat er nauwelijks werd nagedacht over uitbreiding van het nucleair arsenaal ten behoeve van de energievoorziening. Als gevolg van de huidige energietransitie is dit beeld echter fors veranderd en is er inmiddels een hernieuwde belangstelling voor een positie van kernenergie in de energiemix. Om de nucleaire ambities van Nederland te kunnen realiseren en ook internationaal een rol van betekenis te kunnen spelen in de zich voltrekkende nucleaire renaissance, is een ambitieus kennis- en innovatie programma nodig dat past bij de vraag naar kennis maar daarnaast ook actief inzet op de verdere ontwikkeling en ontplooiing van de sterktes en de innovatiekracht van Nederland, ten einde ook nieuwe economische kansen voor het Nederlandse bedrijfsleven en de industrie in het nucleaire domein te creëren. Het MMIP Kernenergie in een CO₂-vrije energievoorziening in 2050 heeft in dat kader de volgende thema's als belangrijkste focuspunten geïdentificeerd:

1. Stralingsbescherming
2. Systeemkennis (inpassing van kernenergie in het Nederlandse energiesysteem)
3. Kennis over nucleaire reactor- en splijtstofcyclustechnologie
4. Aan reactoren gerelateerde 'enabling' onderwerpen ('plant integrity', onderhoud onder extreme omstandigheden, enz.)
5. Hogetemperatuur waterstofproductie
6. Materiaalonderzoek, waaronder met behulp van nucleaire/ioniserende straling
7. Verwerking en opslag radioactief afval en geologische eindberging.
8. Perceptie, communicatie en draagvlak.

Door het Missieteam is binnen deze lijst een nadere prioritering geformuleerd waarbij de hoogste prioriteit is toegekend aan: systeemkennis (2), Kennis over nucleaire reactor- en splijtstofcyclustechnologie (3), hoge temperatuur waterstof productie (5) en perceptie, communicatie en draagvlak (8). Deze prioritering is uitgewerkt in het Kennis en Innovatie Programma.

Doelen 2024-2030

Het primaire doel van dit deelprogramma is het versterken van het nucleaire ecosysteem voor kernenergie. De benodigde kennis en innovatieontwikkeling heeft betrekking op alle TRL-niveaus: van verkennen, ontwikkelen, opschalen tot demonstren. Bij de versterking van het nucleaire ecosysteem spelen zowel overheden, bedrijfsleven als kennisinstellingen een rol. Om te komen tot een krachtig kennis en innovatie ecosysteem in Nederland is het van belang dat de samenwerking tussen deze partijen verder wordt versterkt. Dit MMIP heeft als belangrijk nevendoeel deze ontwikkeling te stimuleren.

Aanpak

Voor het realiseren van bovenstaande doelen worden verschillende initiatieven ontplooid. Het gaat hierbij om:

1. Inventarisatiestudies. Deze studies zijn bedoeld kennisleemtes en innovatiebehoefte in kaart te brengen bij zowel overheden als bedrijven, waar welke investeringen nodig zijn en wie wanneer actie moet nemen om de noodzakelijke kennis en innovaties beschikbaar te maken. Hierbij zal zoveel mogelijk gebruik gemaakt worden van onderzoek en ervaringen buiten Nederland.

Doelstelling van de inventarisatiestudies is om tot formulering van concrete acties en activiteiten te komen die vervolgens zullen worden opgenomen in de voor de realisatie van de gestelde doelen op te stellen MMIP-roadmap.

2. Een meerjarig wetenschappelijk onderzoeksprogramma. Op dit moment wordt met NWO verkend hoe zij een rol kunnen nemen in de opzet, coördinatie en wetenschappelijke borging van dit programma. Het programma is gericht op de acht hiervoor genoemde kennis- en innovatiethema's en zal gefaseerd worden geprogrammeerd/uitgevoerd, waarbij fase I zich zal richten op de thema's met een hoge prioriteit en fase II zich zal richten op de andere thema's. Fase I zal in nauwe samenwerking met de nucleaire sector worden voorbereid in 2024-2025 en zal open gaan in 2025-2026. Als eerder aangegeven is de insteek zowel universiteiten, hogescholen als TO2-instituten te laten deelnemen aan dit programma. Het programma heeft een vraag-gestuurde agenda en wordt begeleid door een begeleidingsgroep van stakeholders. Bedoeling is een opzet te realiseren die er voor zorgt dat opgedane kennis ook zo snel mogelijk kan worden gebruikt en toegepast.
3. Een Technologie Ontwikkelingsprogramma (TO), met als doel innovatie te stimuleren bij met name het bedrijfsleven, inclusief het MKB. Dit wil het programma doen middels het verlenen van subsidies (uitgangspunt: in co-financiering met aanvrager) voor de ontwikkeling van innovatieve oplossingen. In 2024 wordt voor dit programma, in nauw overleg met het bedrijfsleven, een *Terms of Reference* opgezet, waarin is aangegeven waaraan aanvragen voor subsidie moeten voldoen. Denk hierbij aan prioritaire thema's, beoogde doelgroepen, juridische aspecten enzovoort. Het programma wordt ontwikkeld als een open subsidie tender. Start van dit programma, inclusief *call for proposals*, wordt voorzien in de periode 2025-2026. Na een (positieve) evaluatie wordt in de periode 2027-2030 een tweede *call for proposals* geopend.
4. Vraag-gestuurde programma's van TNO en NRG. In 2024 zullen enkele toegepast wetenschappelijk onderzoeksprogramma's worden opgestart bij TNO en NRG. Het gaat hierbij om de thema's: opleiding en training, integratie van kernenergie in het energiesysteem (waarbij met name wordt ingezet op actualisatie en verbetering van het beschikbare model instrumentarium) en publiek vertrouwen in kernenergie.
5. Implementatie programma's. Ontwikkelde kennis voor een brede doelgroep, denk bijvoorbeeld aan resultaten van perceptieonderzoek, komt niet altijd snel en effectief tot toepassing in de praktijk en heeft daardoor niet altijd de impact die ze zou kunnen/moeten hebben. Hiervoor worden implementatieprogramma's opgezet, gericht op bijvoorbeeld het opzetten van demonstratieprojecten, de ontwikkeling van 'serious games', het opzetten van handreikingen of de realisatie van digitale simulatoren.

Waar mogelijk zullen deze programma's samenwerking zoeken met andere kennis- en innovatie programma's in en buiten Nederland.

Inzet Stralingsveiligheid

Binnen de nucleaire technologie is stralingsveiligheid een zeer belangrijk thema, het is een randvoorwaarde voor een veilige sector. Het is noodzakelijk dat kennis rondom stralingsbescherming binnen Nederland up-to-date is en blijft en dat deze kennis effectief en efficiënt kan worden overgedragen aan verschillende stakeholders. Het gaat hierbij om stakeholders uit verschillende sectoren: energieproductie, gezondheidszorg en materialenonderzoek en ook verschillende functies in het publieke en private domein. Hiertoe wordt in 2024 een leerstoel Stralingsdosimetrie en -biofysica aan de TU Delft ingesteld. Deze leerstoel kan een coördinerende en aanjagende rol hebben in het op orde brengen en houden van het stralingsbeschermingsonderwijs op de diverse niveau's. De

door dit MMIP te ontwikkelen kennisprogramma's zullen zoveel mogelijk aansluiten, c.q. complementair zijn aan onderzoek dat wordt uitgevoerd door het RIVM.

Aanpak

De eerste voorziene actie is gepland voor de periode 2025-2027. Gestart zal worden met een verkenning van behoeftes en leemtes op dit vlak. Wetenschappelijke vraagstukken kunnen ondergebracht worden bij het wetenschappelijke programma fase II in de periode 2025-2027.

Inzet Systeemkennis (inpassing van kernenergie in het Nederlandse energiesysteem)

Door de inpassing van kernenergie kan het Nederlandse energiesysteem aanzienlijk veranderen. Dit geldt zowel vanuit een technisch perspectief (bijvoorbeeld bij de introductie van SMR's en vierde generatie reactoren), als vanuit economisch- (inclusief kosten), sociaal maatschappelijk-, juridisch- (wet en regelgeving), circulair- (kritische materialen) en leveringszekerheid- (importafhankelijkheid), perspectief en het perspectief van effecten op de leefomgeving (milieu, ruimte enzovoort). Deze systeemkennis is van groot belang om een weloverwogen toekomstvisie op te stellen, verschillende scenario's te ontwikkelen, de ontwerp-, ontwikkel-, vergunningverlenings- en realisatieperiode efficiënter en korter te maken enzovoorts. Voor het analyseren van deze systeemvraagstukken is het nodig het methodologisch instrumentarium op orde te brengen om integraal de effecten op het energiesysteem/economie/leefomgeving/maatschappij, inclusief onzekerheden, in beeld te brengen en te kunnen analyseren.

Aanpak

Voor systeemkennis zijn de volgende activiteiten voorzien:

1. Het uitvoeren van een integrale nationale systeemstudie. Door het MMIP 13 Systeemintegratie programma wordt in 2024 gestart met een integrale techno-economische systeemstudie die de impact van vele (mogelijke) veranderingen door de energietransitie op het energiesysteem analyseert. De verschillende opties voor kernenergie zullen in dit programma worden meegenomen. Financiering zal derhalve plaatsvinden vanuit het MMIP 13 budget.
2. Update van systeemmodellen in beheer bij TNO en NRG. Hiervoor zal in 2024 een bijdrage worden geleverd via de TNO Rijksbijdrage.
3. Toekomstige systeemvraagstukken. Naar verwachting zal in de periode 2027-2030 aanvullende systeemkennis nodig zijn. Hiervoor wordt een financiële reserve aangehouden.
4. Een aantal vraagstukken is van wetenschappelijke aard. In de periode 2027-2030 zal daarom dit thema worden opgenomen in het wetenschappelijke programma fase II.

Inzet kennis over nucleaire reactor- en splijtstofcyclustechnologie

De investering in kennis op het gebied van nucleaire reactor- en splijtstoftechnologie in Nederland is de laatste decennia bescheiden geweest. Om in deze nieuwe fase met plannen voor nieuwbouw een deskundig opdrachtgever te kunnen zijn bij de aanschaf van nucleaire technologie en installaties is het belangrijk om de kennisbasis te verbreden. Het is van belang om de algemene kennis ten aanzien van derde generatie reactoren, disciplinaire kennis (chemie, fysica, technologie en engineering) en niet-technische kennis (veiligheidsanalyses, security en safeguards, juridische kennis voor harmonisatie van internationale wet- en regelgeving) gericht op kernenergie en de bijbehorende splijtstofcyclus voor ontwikkeling/ondersteuning van nucleaire industrie in Nederland (inclusief kennis over SMR's) structureel te verbreden en op te hogen. Daarnaast is het belangrijk de kennis wat betreft verrijking op het huidige hoge niveau te houden.

Om Nederland aantrekkelijk te maken voor (internationaal) talent in het hbo en wo, is het van belang gericht te investeren in innovatie en onderzoek. Generatie-IV reactoren kunnen in de toekomst een belangrijke rol spelen in het energiesysteem en bieden potentie om langlevend afval van de huidige generatie reactoren te verbranden. Het ligt voor de hand om te investeren in wetenschappelijk en toegepast onderzoek rondom deze nieuwe generatie reactoren.

Aanpak

Dit thema zal een belangrijk onderwerp worden in het wetenschappelijke programma Fase I en afhankelijk van de resultaten van de inventarisatiestudie in 2024, vervolgens ook in het TO-programma.

Inzet Aan reactoren gerelateerde 'enabling' onderwerpen

Voor het bouwen, onderhouden, monitoren, beheren en in de toekomst ontmantelen van kerncentrales, is er ook kennis nodig uit niet-nucleaire domeinen. Denk hierbij aan onderhoudssystemen in complexe omgevingen (bijvoorbeeld 'condition-based maintenance') inclusief vroegtijdige detectie van benodigd onderhoud ('plant integrity') en systemen voor monitoring en control, constructie technologie (bijvoorbeeld betonbouw), innovatieve lastechnieken en projectmanagement voor complexe projecten.

Aanpak

De eerste voorziene actie is gepland voor de periode 2025-2027. Gestart zal worden met een inventarisatiestudie. Kennis en innovatievraagstukken kunnen ondergebracht worden bij het wetenschappelijke programma fase II in de periode 2025-2027 en/of in het TO programma. Hier liggen bovendien koppelkansen met kennis uit andere domeinen.

Inzet Hogetemperatuur waterstofproductie

Op korte termijn kan kernenergie waarschijnlijk ook worden gebruikt voor de productie van waterstof. Daarnaast kunnen toekomstige (Gen-IV) kerncentrales mogelijk worden gebruikt voor processen met hogere temperaturen en hogere efficiency, zoals chemokatalyse/thermochemie of elektrokatalyse. Kernenergie kan mogelijk ook worden gebruikt voor coproductie van warmte. De kennis voor zowel innovatieve hoge-temperatuur kerncentrales als voor waterstofproductie en voor coproductie van warmte, is nog in opbouw. Nederland heeft grote ambities voor wat betreft waterstof en investeert fors in R&D. Door deze waterstofprogramma's te koppelen aan hoge temperatuur waterstofproductie liggen er kansen voor Nederland om front-runner op het gebied van waterstofproductie te worden. Dit kan naast een versnelling van de energietransitie ook nieuwe economisch waardevolle impulsen voor Nederland opleveren.

Aanpak

Dit thema zal worden opgenomen in het wetenschappelijke programma Fase I en afhankelijk van de inventarisatiestudie in 2024, in het TO programma. Nadrukkelijk zal samenwerking worden gezocht met het Groenvermogen groeifondsprogramma.

Inzet materiaalonderzoek, waaronder met behulp van nucleaire/ioniserende straling

Succesvolle energie- en materialentransities in andere sectoren vereisen de ontwikkeling van diverse soorten innovatieve functionele materialen, bijvoorbeeld voor zonnecellen, batterijen, halfgeleiders, geavanceerde constructiematerialen, nucleaire structurele materialen en materialen voor de splijtstofcyclus. Onder andere met de inzet van nucleaire/ioniserende straling (neutronen, positronen, protonen), kunnen de functies, prestaties, capaciteit en levensduur van materialen worden onderzocht en verbeterd. Nederland heeft op dit terrein al een zeer sterke kennispositie, die

met de nieuwe ambities op het gebied van kernenergie verder versterkt en uitgebouwd kan worden. Maar ook andersoortig materiaalonderzoek kan bijdragen aan de ontwikkeling van nieuwe, bijvoorbeeld meer corrosie- of temperatuurbestendige materialen ten behoeve van volgende generaties nucleaire installaties.

Aanpak

De eerste voorziene actie is gepland voor de periode 2025-2027. Gestart zal worden met een inventarisatiestudie. Kennis en innovatievraagstukken kunnen ondergebracht worden bij het wetenschappelijke programma fase II in de periode 2025-2027 en/of het TO programma.

Inzet verwerking en opslag radioactief afval en geologische eindberging

Kerncentrales genereren zowel radioactief als niet-radioactief afval. Met de komst van nieuwe kerncentrales neemt die hoeveelheid afval toe waarbij soort en aard van het afval en verbruikte splijtstoffen mede afhankelijk is van de keuzes die gemaakt worden qua type reactoren. Voor niet alle soorten afval en verbruikte splijtstoffen is in Nederland direct een oplossing voor handen. Het is om die reden noodzakelijk bestaande capaciteit, infrastructuur, plannen en scenario's, die nog uitgaan van de huidige centrale in Borsele, te bezien en waar nodig aan te passen. Ook voor de locatiekeuze, planning en realisatie van een geologische eindberging is aanvullende kennis en technologie vanuit verschillende disciplines noodzakelijk. Middels een onderzoeksprogramma met kennisinstellingen, de COVRA en buitenlandse partners wordt kennis ontwikkeld die kan bijdragen aan de besluitvorming met betrekking tot opslag en eindberging. Hiervoor zal ook nadrukkelijk gekeken kunnen worden naar België, dat al een uitgebreid programma rondom dit thema heeft lopen.

Aanpak

De eerste voorziene actie is gepland voor de periode 2025-2027. Gestart zal worden met een inventarisatiestudie. Kennis en innovatievraagstukken kunnen ondergebracht worden bij het wetenschappelijke programma fase II in de periode 2027-2030 en/of het TO programma.

Inzet op perceptie, communicatie en draagvlak.

De afgelopen jaren is het maatschappelijk draagvlak voor kernenergie toegenomen. Dat neemt niet weg dat de perceptie over kernenergie in de maatschappij nog sterk uiteenloopt. Investeren in transparante en effectieve communicatie en besluitvormingsprocessen en -methodes gericht op kernenergie is belangrijk om voldoende maatschappelijk draagvlak te realiseren en te behouden. Dit vraagt om een aanpak die rekening houdt met verschillende waarden, zoals kwaliteit van de leefomgeving, rechtvaardigheid enzovoorts.

Aanpak

Voor het thema perceptie, communicatie en draagvlak zijn de volgende activiteiten gepland:

1. Toegepast wetenschappelijk onderzoek voor de meer korte termijn vraagstukken, via vraaggestuurde programma's van TNO en NRG in 2024.
2. Een aantal vraagstukken zijn van wetenschappelijke aard. Dit thema zal daarom ook worden geadresseerd in het wetenschappelijke programma Fase I.
3. Voor het onderwerp perceptie, draagvlak en communicatie is het snel kunnen toepassen van opgedane kennis in de praktijk cruciaal. Om deze reden zal hiervoor een implementatieprogramma worden opgezet in de periode 2025-2026.

Diversen

Gelet op de huidige (kennis-)positie van Nederland en de nieuwe ambities met betrekking tot kernenergie, is in aanvulling op de bestaande samenwerkingsverbanden met bijvoorbeeld de IAEA en OECD-NEA en andere Europese nucleaire werkprogramma's, verdere uitbouw van de internationale samenwerking noodzakelijk en wenselijk: het geeft toegang tot internationale kennis en faciliteiten, versterkt de Nederlandse positie in het internationale speelveld en biedt kansen voor het benutten van gezamenlijke investeringen in nieuwe technologie. Het is daarom belangrijk om met enkele landen structurele samenwerkingsverbanden aan te gaan. Hierbij zijn Memoranda of Understanding (MoU's) een zeer bruikbaar instrument. Voor de periode 2024-2026 is het streven drie van dergelijke MoU's af te sluiten (Zuid-Korea, de Verenigde Staten en Frankrijk). Voor de periode 2027-2030 worden daarnaast nog drie aanvullende MoU's voorzien. MoU's vormen een basis om de bilaterale samenwerking met andere landen te versterken op het gebied van kennisontwikkeling. Hiervoor en voor verdere bevordering van internationale samenwerking zal in het huidige MMIP dan ook budget worden gereserveerd.

Begroting en overzicht

De volgende tabel geeft een overzicht van de hiervoor beschreven doelen, aanpak en een indicatieve begroting voor de drie onderscheiden periodes.

Kennis en Innovatie programma	Doel 2024-2030	Inzet 2024	Budget Rijk 2024 (M€)	Inzet 2025-2026	Budget Rijk 2025-26 (M€)	Inzet 2027-2030	Budget Rijk 2027-30 (M€)
Systeemkennis	Ontwikkelen systeemkennis en benodigde tools	Nationale Modelstudie, geïntegreerd in een brede studie naar het energiestroom MMIP 13	1,5*	Nationale Modelstudie, geïntegreerd in systeemstudie MMIP 13		Detailstudies systeemvraagstukken	0,5
Wetenschappelijk onderzoek (WO) programma	Kennisontwikkeling	WO-programma Fase I ontwikkelen	5,73	Opstarten WO-programma Fase I, ontwikkelen Fase II		Opstarten WO-programma fase II	8
Technologie ontwikkelings (TO) programma	Stimuleren technologieontwikkeling en innovatie	Programma ontwikkelen incl. Terms of Reference		Uitvoeren TO-programma deel 1	7,5	Uitvoeren TO-programma deel 2	8,5
TNO/NRG R&D programma	- Upgraden TNO modellen	TNO en NRG vraaggestuurde programma's	1,67				
	- Publiek vertrouwen in kernenergie						
	- Opleiding en training (o.a. Nuclear Academy)						
Implementatieprogramma	Kennis snel in praktijk brengen			Ontwikkelen en uitrollen implementatieprogramma	0,75		
Internationale samenwerking	Stimuleren samenwerking met buitenland	Bilaterale MOU's	0,2	Bilaterale MOU's	0,4	Ontwikkelen internationaal kennis en innovatie programma	0,6
Onvoorzien			0,1		0,5		1
TOTAAL			7,7		9,15		18,6

*Middelen afkomstig uit MMIP 13, waar ook de rol van kernenergie in het energiesysteem wordt meegenomen.