

33 626

Oprichting Stichting Voorbereiding Pallas-reactor

Nr. 15

Verslag van een schriftelijk overleg

Vastgesteld 26 april 2021

De vaste commissie voor Volksgezondheid, Welzijn en Sport heeft een aantal vragen en opmerkingen voorgelegd aan de minister voor Medische Zorg over de brief van 9 december 2020 over de stand van zaken over de vorming van een personele unie tussen de Stichting voorbereiding Pallas-reactor en de Stichting Nuclear Research and Consultancy Group (Kamerstuk 33 626, nr. 13).

De vragen en opmerkingen zijn op 18 januari 2021 aan minister voor Medische Zorg voorgelegd. Bij brief van 23 april 2021 zijn de vragen beantwoord.

De fungerend voorzitter van de commissie,
Agema

Adjunct-griffier van de commissie,
Krijger

Vragen en opmerkingen vanuit de fracties en reactie van de bewindspersonen

Vragen en opmerkingen van de VVD-fractie

De leden van de VVD-fractie hebben kennisgenomen van de stand van zaken betreffende de vorming van een personele unie tussen de Stichting voorbereiding Pallas-reactor en de Stichting Nuclear Research and Consultancy Group (NRG). Zij hebben hierbij nog enkele vragen.

In de brief van de minister lezen deze leden dat uit de onderzoeken van het RIVM (en ook uit de studie van de Europese Commissie) is gekeken in hoeverre nieuwe productietechnologieën (niet-reactor), waaronder van het Belgische bedrijf SMART (van IRE, voorheen Lighthouse) en van het Amerikaanse bedrijf SHINE, een deel van de productie van molybdeen-99 kunnen overnemen. Volgens het RIVM verwacht SHINE over een aantal jaren met hun faciliteit in de Verenigde Staten te kunnen voorzien in 30% van de wereldwijde vraag. Op welke gegevens baseert SHINE deze verwachtingen?

In de onderhavige brief staat dat er op dit moment verschillende initiatieven in ontwikkeling zijn die beogen om isotopen, die nu nog alleen met reactoren te maken zijn, met een complexe deeltjesversneller te maken. De technologieën van de bedrijven SHINE en SMART zijn hier voorbeelden van. Een van de voordelen, zo staat in de brief, is dat ze minder radioactief afval produceren. Hoe zwaar weegt de minister dit laatste punt, aangezien de omgang met radioactief afval een groot vraagstuk is?

Voorts lezen de leden van de VVD-fractie dat deze technologieën in eerste instantie vooral gericht zijn op de productie van molybdeen-99, maar dat er plannen zijn aangekondigd om ook een aantal therapeutische isotopen te maken. In de brief stelt de minister dat beide technologieën veelbelovend zijn (bijvoorbeeld omdat zij door hergebruik van brandstof schoner zijn en minder afval genereren), maar dat het innovatieve karakter wel de nodige onzekerheid met zich mee brengt. Zo heeft de techniek zich nog niet op productieschaal bewezen en spelen er ook hier afhankelijkheden. Kan de minister aangeven welke afhankelijkheden hier spelen?

De leden van de VVD-fractie lezen dat SHINE heeft aangekondigd daarnaast een faciliteit in Europa te willen bouwen, mogelijk in Nederland (Groningen). Deze fabriek zou in 2025 operationeel moeten zijn. Hoe waarborgt de minister dat er een gelijk speelveld is tussen een eventuele vestiging van SHINE in Nederland en publiek gefinancierde onderzoeksreactoren? Hoe verlopen de gesprekken hierover met SHINE en Pallas?

Het kabinet heeft zich ervoor uitgesproken zich in te zetten voor een betere werking van de markt voor medische isotopen met als doel te komen tot een prijs voor medische isotopen die kostendekkend is voor de reactor (*full cost recovery*). De leden van de VVD-fractie constateren dat het belang daarvan breed werd (en nog steeds wordt) gedragen, door overheden, producenten én afnemers van medische isotopen. Deze inzet heeft tot hogere prijzen geleid. Is er door deze inzet ook meer interesse vanuit de markt waargenomen om dergelijke projecten op te pakken?

Genoemde leden lezen dat naast het inhoudelijke werk aan de ontwikkeling van de reactor, Pallas ook heeft gewerkt aan de *business case* en dat de zoektocht naar private investeerders

is gestart. De geïnteresseerde private partijen hebben op een aantal punten om meer duidelijkheid gevraagd. Kan de minister aangeven of een termijn is afgesproken waarop Pallas een antwoord op de vragen van private partijen moet aanleveren? Kan voorts worden aangegeven of er een termijn is afgesproken waarop private partijen moeten beslissen of zij willen investeren?

De minister geeft aan om aan Pallas en SHINE gelijke kansen te willen bieden. Welke gevolgen heeft dit voor eventuele vervolgstun vanuit de overheid aan Pallas? Wat kan SHINE eventueel van de overheid verwachten?

De leden van de VVD-fractie lezen in de brief dat de vestiging van beide opties, zowel Pallas als SHINE, nog veel afhankelijkheden kent. Kan de minister aangeven hoe deze onzekerheid zich verhoudt tot de leveringszekerheid voor Nederland? Worden met betrekking tot leveringszekerheid dezelfde eisen gesteld aan verschillende aanbieders, zo vragen deze leden tenslotte.

Vragen en opmerkingen van de CDA-fractie

De leden van de CDA-fractie hebben kennisgenomen van de stand van zaken over de vorming van een personele unie tussen de Stichting voorbereiding Pallas-reactor en de Stichting Nuclear Research and Consultancy Group. Deze leden hebben hier enkele vragen bij.

Nederland is met het onderzoek in Petten vooraanstaand op het gebied van de ontwikkeling van nucleaire medicijnen. De leden van de CDA-fractie vragen hoe de minister zorgt dat deze kennis in Nederland blijft.

De minister schrijft dat de Hoge Flux Reactor (HFR te Petten, Nederland) en BR-2-reactor (Mol, België) samen 60% van de wereldvraag aan molybdeen-99 voor hun rekening nemen. De leden van de CDA-fractie vragen of de minister kan aangeven hoe de verdeling tussen deze twee reactors hierbij is.

In een studie in opdracht van de Europese Commissie wordt geconcludeerd dat een nieuwe reactor nodig is om de oudere reactoren op termijn te vervangen en zo de voorzieningszekerheid in Europa veilig te stellen. De nieuw te bouwen Pallas-reactor zou volgens de minister hiervoor de meest waarschijnlijke kandidaat zijn. De leden van de CDA-fractie vragen of de minister nader kan toelichten waarom de Pallas-reactor hiervoor de meest waarschijnlijke kandidaat is. Kan nader worden toegelicht van welke factoren dit afhankelijk is?

Volgens het RIVM kan het bedrijf SHINE straks 30% van de wereldmarkt bedienen. De leden van de CDA-fractie vragen of dat betekent dat er dan overcapaciteit kan ontstaan. Zijn cijfers beschikbaar over de verwachte vraagontwikkeling, zowel ten aanzien van onderzoek met medische isotopen als ten aanzien van medische isotopen die geneesmiddel zijn?

Klopt het dat de huidige isotopenmarkt voornamelijk bestaat uit de rijkere landen en is de minister met de leden van de CDA-fractie van mening dat deze markt zou moeten groeien, zodat op termijn alle mensen op de wereld gediagnostiseerd en behandeld kunnen worden? Is in de behoefte voor productie van medische isotopen rekening gehouden met de gehele wereldmarkt?

De minister wil zich ervoor inzetten om voor medische isotopen tot een kostendekkende prijs

te komen. De leden van de CDA-fractie vragen waarom dat nu nog niet het geval is. Wie krijgt dan de winst in de keten aangezien de vraag stijgend is? Is de minister het met de leden van de CDA-fractie eens dat de prijs opslag dient te bevatten om bijvoorbeeld over 40 jaar de reactor verantwoord op te ruimen en geld te hebben om een nieuwe te bouwen? Wordt dat nu meegenomen?

De minister schrijft over een mogelijke beroepsprocedure bij de Raad van State. De leden van de CDA-fractie vragen van wie zij een beroepsprocedure verwacht.

De uitstaande leningen van de overheden (waaronder de Provincie Noord-Holland) bedragen op dit moment 148 miljoen euro. De leden van de CDA-fractie vragen of de minister kan bevestigen dat in het businessplan deze leningen (met rente) terugbetaald moeten worden.

De minister schrijft dat zij SHINE en Pallas gelijke kansen wil bieden. De leden van de CDA-fractie vragen over welke zaken er daarbij gesproken wordt.

De leden van de CDA-fractie vragen of de minister de zorgen deelt van de in het FD¹ genoemde voorzitter van de Nederlandse Vereniging voor Nucleaire Geneeskunde (NVNG) dat de leveringszekerheid van medische isotopen in gevaar kan komen door langdurige onzekerheid over de komst van een nieuwe reactor.

De leden van de CDA-fractie vragen of het klopt dat alternatieve productiemethodes wel mogelijkheden kunnen gaan bieden op het gebied van isotopen voor diagnosestelling, maar dat voor het overgrote deel van de huidige en nieuw te onderzoeken isotopen voor behandeling van kanker en andere ziekten (therapie) een reactor nodig blijft. Deze leden vragen verder wat de verwachtingen zijn ten aanzien van de behoefte aan deze therapeutische isotopen, voor Nederland, Europa en wereldwijd. Klopt het dat er juist behoefte is aan reactoren en alternatieve productiemethodes, omdat er wereldwijd diverse reactoren gesloten zullen worden de komende jaren, waardoor er op termijn een tekort aan productiefaciliteiten dreigt?

De leden van de CDA-fractie vragen wanneer de huidige HFR uit productie zal worden genomen. Wordt er genoeg tijd genomen voor een vloeiende overgang tussen de HFR en Pallas? Kan de minister de veiligheid van de HFR blijven garanderen na 2024?

De leden van de CDA-fractie vragen ten slotte wat de stand van zaken is met betrekking tot de overbrenging van historisch afval van Petten naar Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) en de financiële afhandeling daarvan.

Vragen en opmerkingen van de D66-fractie

De leden van de D66-fractie hebben kennisgenomen van de brief van de minister voor Medische Zorg d.d. 9 december 2020 (Kamerstuk 33 626, nr. 13), waarin de stand van zaken met betrekking tot de Pallas-reactor uiteen wordt gezet. Deze leden vinden het van groot belang dat de juiste balans wordt gevonden tussen leveringszekerheid van medische isotopen, een duurzame oplossing en een eerlijk speelveld voor alle betrokken partijen. Zij hebben in dit verband nog verschillende vragen.

¹ FD, 10 december 2020, "Kankerpatiënten de dupe als nieuwe reactor niet doorgaat"

De leden van de D66-fractie hebben allereerst vragen over de verschillende isotopen die kunnen worden geproduceerd. Zij begrijpen dat niet alle medische isotopen die met een reactor kunnen worden gemaakt ook door een versneller kunnen worden gemaakt, en andersom. Om te begrijpen wat dit betekent voor de therapieën en diagnostiek van patiënten, ontvangen zij graag concretere cijfers. Hoeveel medische isotopen kunnen wel met een reactor worden gemaakt (in procenten en aantal verschillende isotopen), maar niet met een versneller, en andersom? Is de verwachting dat dit in de toekomst verandert? Welk aandeel nemen deze medische isotopen in, in de totale productie, als wordt gekeken naar de huidige wereldwijde productie? Om de behandeling of diagnostiek voor welke behandelingen gaat het? Tevens vragen deze leden of er voor deze isotopen een alternatief voor handen voor patiënten. Voorts vragen deze leden of het de verwachting is dat reactoren of juist versnellers een grotere rol kunnen spelen in de ontwikkeling van nieuwe therapeutische isotopen. Dit lijkt hen relevant voor de toekomstige waarde en het toekomstig belang van een reactor respectievelijk een versneller in Nederland.

De leden van de D66-fractie vragen de minister voorts nader in te gaan op de toekomstige voorzieningszekerheid van medische isotopen. Zij lezen in de brief van de minister dat het innovatieve karakter van nieuwe productietechnologieën (niet-reactor), zoals SMART en SHINE, wel de nodige onzekerheid met zich meebrengt. De techniek zou zich nog niet op productieschaal hebben bewezen. Heeft de techniek wel al op kleinere schaal veelbelovende leveringsresultaten getoond? Is deze onzekerheid er in veel mindere mate bij de voorgenomen Pallas-rector? In hoeverre is daarbij sprake van nieuwe productietechnologie en in hoeverre wordt gebruikgemaakt van technologie uit de bestaande reactoren, die veelal 45 jaar of ouder zijn?

De leden van de D66-fractie hebben tevens vragen over de financiën en business case van de Pallas-reactor. In de zomer van 2019 meldde de toenmalige minister voor Medische Zorg (Bruins) nog dat er in 2020 een definitief akkoord zou moeten liggen over de financiering van de nieuwe reactor, zodat de bouw in de loop van 2021 zou kunnen starten. Hij zei hierover: “Dit is een mijlpaal; een belangrijke stap. Er is nog veel werk aan de winkel, maar nu zich meerdere private investeerders hebben gemeld kunnen we echt aan de slag.” Inmiddels is gebleken dat dit toch niet zo eenvoudig is, vanwege de “mix van risico’s die samenhangen met een groot, complex (nucleair) bouwproject in combinatie met nog onzekere omzetverwachtingen.” Deze leden vragen in hoeverre dit niet voorzienbaar was. Klopt het dat de lage prijs voor medisch isotopen al jaren bekend is, net als de grote kosten die met dit bouwproject gemoeid zouden zijn? Erkent de minister dat dit een misrekening is geweest? Kan zij nader toelichten waar de 128 miljoen euro aan leningen tot op heden aan is besteed? Welke ontwikkelingen van het project worden met de nieuwe leningen gecontinueerd? Voorts ontvangen genoemde leden graag nadere onderbouwing van de business case zelf. Verwacht de minister dat nieuwe initiatieven de toekomstige marktpositie van Pallas kunnen schaden? Is het realistisch dat nieuwe initiatieven in de toekomst vergelijkbare isotopen tegen een lagere prijs kunnen gaan produceren? Hoeveel jaar moet de Pallas-reactor zijn geplande afzet realiseren om de kosten terug te verdienen en rendabel te worden? Kan de business case van de Pallas-reactor (al dan niet vertrouwelijk) met de Kamer worden gedeeld?

De leden van de D66-fractie constateren dat de minister het als een onwenselijke situatie beschouwt dat private financiering alleen mogelijk lijkt met vergaande garanties van de overheid. Bij de overname van Sanquin Plasma Products door private partijen zag de minister

diverse overheidsgaranties niet als onoverkomelijk. Kan de minister nader toelichten welke garanties in dit geval precies te ver gaan? Ziet zij nog enige mogelijkheid om via onderhandelingen op een punt te komen dat de garanties wel acceptabel zouden zijn, of is dit in haar ogen een gepasseerd station?

De leden van de D66-fractie willen voorts graag stilstaan bij het gelijke speelveld voor SHINE en Pallas, conform de motie die zij daarover met andere partijen hebben ingediend. In hoeverre staat de financiering van Pallas de komst van SHINE definitief in de weg? Is er een kans aanwezig dat beide in Nederland zijn gevestigd, of ziet de minister het als een keuze tussen een van beide? Welke van de twee zou naar verwachting sneller up-and-running kunnen zijn en voor welk aandeel in de (wereldwijde) productie van medisch isotopen? Deze leden vragen of zij verder de grootte van het verschil in duurzaamheid tussen beide productietypen kan schetsen.

De leden van de D66-fractie vernemen tot slot graag wat de omvang van het radioactief afval van de Pallas-reactor zal zijn, hoe dat zich verhoudt tot het afval dat door een kerncentrale wordt geproduceerd, hoe de verwerking van dit afval zal geschieden, welke impact dit op het milieu kan hebben en welke risico's de productie voor omwonenden met zich meebrengt.

Vragen en opmerkingen van de ChristenUnie-fractie

De leden van de fractie van de ChristenUnie hebben kennisgenomen van de brief van de minister voor Medische Zorg over de oprichting van de stichting voorbereiding Pallas-reactor. Zij hebben enkele vragen bij de brief.

De leden van de ChristenUnie-fractie lezen in de brief dat de minister haar intentie herhaalt om SHINE en Pallas gelijke kansen te willen geven in de bouw van een nieuwe reactor. Genoemde leden zijn echter van mening dat de publieke leningen aan Pallas van circa 180 miljoen euro een ander beeld geven. Zij willen van de minister weten welke garanties er zijn dat deze leningen worden terugbetaald. Welke financiële of andere steun mag SHINE van de overheid verwachten, zodat een gelijk speelveld wordt gerealiseerd?

De leden van de ChristenUnie-fractie lezen ook dat private financiering van een nieuwe Pallas-reactor niet haalbaar is en dat volledig publieke financiering van een nieuwe Pallas-reactor als optie wordt opgehouden. Deze leden vragen de minister ook in dit licht wat SHINE mag verwachten van de overheid om de garantie van een gelijk speelveld waar te maken. Begrijpen deze leden het goed dat de minister aangeeft dat private financiering van de nieuwe Pallas-reactor nu niet realistisch is? Genoemde leden vragen de minister of dit niet een betekenisvol signaal is dat er op zijn minst vraagtekens zijn te plaatsen bij een nieuwe Pallas-reactor, gezien internationale ontwikkelingen voor de productie van isotopen en het feit dat er een privaat alternatief is.

De leden van de fractie van de ChristenUnie willen benadrukken dat de keuzes van de minister voor de huidige leningen en de optie van publieke financiering van een nieuwe Pallas-reactor eraan bijdragen dat vestiging in Nederland voor SHINE minder aantrekkelijk wordt. Gegeven het feit dat SHINE naast Nederland een andere Europese optie overweegt, willen genoemde leden het belang onderstrepen van duidelijkheid over het speelveld. Deze leden vragen de minister om hierover meer duidelijkheid te bieden aan SHINE, voordat het Europese SHINE team een besluit neemt. Deze leden roepen de minister op niet een kans voorbij te laten gaan om een innovatief bedrijf zich in Nederland te laten vestigen en om

leidend te blijven op het gebied van medische isotopen en nucleaire geneeskunde.

II. Reactie van de minister

Vragen en opmerkingen van de VVD-fractie

Vraag 1

In de brief van de minister lezen deze leden dat uit de onderzoeken van het RIVM (en ook uit de studie van de Europese Commissie) is gekeken in hoeverre nieuwe productietechnologieën (niet-reactor), waaronder van het Belgische bedrijf SMART (van IRE, voorheen Lighthouse) en van het Amerikaanse bedrijf SHINE, een deel van de productie van molybdeen-99 kunnen overnemen. Volgens het RIVM verwacht SHINE over een aantal jaren met hun faciliteit in de Verenigde Staten te kunnen voorzien in 30% van de wereldwijde vraag. Op welke gegevens baseert SHINE deze verwachtingen?

Antwoord 1

SHINE geeft desgevraagd aan dat deze claim gebaseerd is op de verwachte output van de productiefaciliteit die SHINE momenteel in de Verenigde Staten in ontwikkeling heeft en waarvoor de Amerikaanse autoriteiten een bouwvergunning hebben afgegeven, afgezet tegen de huidige wereldwijde vraag naar molybdeen-99. Het RIVM heeft deze claim echter niet zelf kunnen onderzoeken of verifiëren.

Vraag 2

In de onderhavige brief staat dat er op dit moment verschillende initiatieven in ontwikkeling zijn die beogen om isotopen, die nu nog alleen met reactoren te maken zijn, met een complexe deeltjesversneller te maken. De technologieën van de bedrijven SHINE en SMART zijn hier voorbeelden van. Een van de voordelen, zo staat in de brief, is dat ze minder radioactief afval produceren. Hoe zwaar weegt de minister dit laatste punt, aangezien de omgang met radioactief afval een groot vraagstuk is?

Antwoord 2

Voor het kabinet staat het belang van de voorzieningszekerheid van medische isotopen voorop. De nieuwe technologieën, zoals SHINE en SMART, kunnen bijdragen aan de voorzieningszekerheid van met name molybdeen-99, de meest gebruikte isotoop in de medische diagnostiek. Dat versnellertechnieken minder radioactief afval produceren is zeker een voordeel ten opzichte van een reactor, maar vanuit het oogpunt van voorzieningszekerheid bieden deze technieken geen volledige oplossing. Zoals ik in de brief geschetst heb is voor de productie van een belangrijk deel van de therapeutische isotopen een reactor nodig.

Vraag 3

Voorts lezen de leden van de VVD-fractie dat deze technologieën in eerste instantie vooral gericht zijn op de productie van molybdeen-99, maar dat er plannen zijn aangekondigd om ook een aantal therapeutische isotopen te maken. In de brief stelt de minister dat beide technologieën veelbelovend zijn (bijvoorbeeld omdat zij door hergebruik van brandstof schoner zijn en minder afval genereren), maar dat het innovatieve karakter wel de nodige onzekerheid met zich mee brengt. Zo heeft de techniek zich nog niet op productieschaal bewezen en spelen er ook hier afhankelijkheden. Kan de minister aangeven welke afhankelijkheden hier spelen?

Antwoord 3

Zoals in de brief van 9 december 2020 (Kamerstuk 33 626, nr. 13) en van 11 maart 2021

(Kamerstuk 33 626, nr. 14) beschreven, is de deeltjesversneller-technologie veelbelovend voor de productie van molybdeen-99, maar heeft deze zich nog niet op productieschaal bewezen. De fabriek van SHINE in de Verenigde Staten is nog in aanbouw, de verwachting van SHINE is dat deze fabriek eind 2022 start met de productie en het daaropvolgende jaar gebruikt wordt om op te schalen. Naast molybdeen-99 kan SHINE ook andere uranium-splijtingsproducten produceren, waaronder jodium-131 dat gebruikt wordt voor schildklieraandoeningen. SHINE wil de fabriek in Europa in 2025 operationeel laten zijn. Naast de technische uitdagingen spelen er ook een aantal andere afhankelijkheden zoals het verkrijgen van vergunningen van de nucleaire toezichthouder en de contracten met afnemers.

Vraag 4

De leden van de VVD-fractie lezen dat SHINE heeft aangekondigd daarnaast een faciliteit in Europa te willen bouwen, mogelijk in Nederland (Groningen). Deze fabriek zou in 2025 operationeel moeten zijn. Hoe waarborgt de minister dat er een gelijk speelveld is tussen een eventuele vestiging van SHINE in Nederland en publiek gefinancierde onderzoeksreactoren? Hoe verlopen de gesprekken hierover met SHINE en Pallas?

Antwoord 4

Ik heb meermaals gesproken met SHINE. In deze gesprekken heb ik aangegeven dat ik SHINE en Pallas gelijke kansen wil bieden. Daarnaast heb ik begin januari een brief gestuurd aan SHINE, waarin ik toelicht dat de Nederlandse overheid, zowel op basis van Europese regelgeving, maar ook uit overtuiging, zich wil inspannen voor een gelijk speelveld. Om deze toezegging concreet te maken, heb ik in de brief ook aangegeven open te staan om de mogelijkheden van het verstrekken van een lening van € 10 miljoen te bespreken. Ik werk hierbij samen met de NOM, de investerings- en ontwikkelmaatschappij voor Noord-Nederland. Hierbij houd ik mij vanzelfsprekend aan vigerende wet- en regelgeving inclusief de staatssteunregels. SHINE heeft aangegeven de Nederlandse inspanning ten behoeve van een gelijk speelveld en de mate van inzet en steun die de Nederlandse regering op alle niveaus - nationaal, regionaal en lokaal - heeft getoond te waarderen. SHINE heeft de locatie in Groningen geselecteerd als voorkeurslocatie voor hun Europese productiefaciliteit voor medische isotopen en richt zich nu op de laatste onderhandelingen. Ik heb vertrouwen in de goede afloop daarvan.

Vraag 5

Het kabinet heeft uitgesproken zich in te zetten voor een betere werking van de markt voor medische isotopen met als doel te komen tot een prijs voor medische isotopen die kostendekkend is voor de reactor (*full cost recovery*). De leden van de VVD-fractie constateren dat het belang daarvan breed werd (en nog steeds wordt) gedragen, door overheden, producenten én afnemers van medische isotopen. Deze inzet heeft tot hogere prijzen geleid. Is er door deze inzet ook meer interesse vanuit de markt waargenomen om dergelijke projecten op te pakken?

Antwoord 5

Op dit moment zijn er geen volledig privaat gefinancierde onderzoeksreactoren. Ook nieuwe technologieën zoals SHINE en SMART hebben een bijdrage van overheden ontvangen. Hoewel de inspanningen in het kader van *full cost recovery* effect hebben gehad, hebben we moeten constateren dat de mix van risico's die samenhangen met een groot, complex (nucleair) bouwproject in combinatie met nog onzekere omzetverwachtingen, zelfs met de hogere prijzen, maakt dat private partijen niet bereid zijn in te stappen.

Vraag 6

Genoemde leden lezen dat naast het inhoudelijke werk aan de ontwikkeling van de reactor, Pallas ook heeft gewerkt aan de *business case* en dat de zoektocht naar private investeerders is gestart. De geïnteresseerde private partijen hebben op een aantal punten om meer duidelijkheid gevraagd. Kan de minister aangeven of een termijn is afgesproken waarop Pallas een antwoord op de vragen van private partijen moet aanleveren? Kan voorts worden aangegeven of er een termijn is afgesproken waarop private partijen moeten beslissen of zij willen investeren?

Antwoord 6

In de brief is toegelicht dat het kabinet tot de conclusie is gekomen dat private financiering geen redelijke kans van slagen meer maakt en zich om die reden beraadt op alternatieven, waaronder publieke financiering, om het doel – voorzieningszekerheid van medische isotopen – zo goed mogelijk te borgen. Private financiering lijkt op dit moment alleen mogelijk met vergaande garanties van de overheid. Dit zou een onwenselijke situatie opleveren waarin private partijen de zeggenschap hebben, terwijl aanzienlijke risico's bij de Staat blijven liggen. Om deze reden is besloten om de route met private financiering op dit moment niet voort te zetten. Er is momenteel dus ook geen contact meer met private partijen.

Vraag 7

De minister geeft aan om aan Pallas en SHINE gelijke kansen te willen bieden. Welke gevolgen heeft dit voor eventuele vervolgstun vanuit de overheid aan Pallas? Wat kan SHINE eventueel van de overheid verwachten?

Antwoord 7

Ik wil hierbij verwijzen naar het antwoord op vraag 4 van de VVD-fractie. Daarbij acht ik het van belang om op te merken dat Pallas en SHINE weliswaar beide kunnen bijdragen aan de voorzieningszekerheid, maar ook van elkaar verschillen, onder meer in de gebruikte techniek, het aantal verschillende isotopen dat ze kunnen produceren en de wijze waarop ze ondersteund worden door hun overheden. Pallas zal kunnen voortbouwen op de kennis die door NRG is opgedaan met de HFR-reactor en SHINE Europe kan gebruik maken van de ervaringen die zijn opgedaan met de productiefaciliteit in de Verenigde Staten. Ook de wijze waarop de financiering en de zeggenschap worden vormgegeven is verschillend. Omdat beide initiatieven van elkaar verschillen zal er geen sprake zijn van een gelijke aanpak, maar moet er sprake blijven een (gedifferentieerde) aanpak die is afgestemd op de initiatieven.

Vraag 8

De leden van de VVD-fractie lezen in de brief dat de vestiging van beide opties, zowel Pallas als SHINE, nog veel afhankelijkheden kent. Kan de minister aangeven hoe deze onzekerheid zich verhoudt tot de leveringszekerheid voor Nederland? Worden met betrekking tot leveringszekerheid dezelfde eisen gesteld aan verschillende aanbieders, zo vragen deze leden tenslotte.

Antwoord 8

Zoals benoemd in de brief van 9 december 2020 wordt in een studie die is gedaan in opdracht van de Europese Commissie (gepubliceerd in februari 2019) geconcludeerd dat er een nieuwe reactor nodig is om de oudere reactoren (die vaker onderhoud, renovatie of vervanging van onderdelen nodig hebben) op termijn te vervangen en zo de voorzieningszekerheid in Europa veilig te stellen. Zonder een nieuwe reactor zouden zich tekorten kunnen voordoen die effect hebben op de levering van medische isotopen aan Nederland. Zoals beschreven in de brief zou SHINE een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan de voorzieningszekerheid van onder meer molybdeen-99. Echter, medische isotopen die in een reactor of versneller zijn bestraald, zijn nog niet direct geschikt om te gebruiken voor patiënten. Ze vormen een halffabrikaat en

zijn onmisbare grondstoffen voor medische diagnostiek en behandelingen, die hiervoor verderop in de keten door farmaceutische bedrijven dienen te worden verwerkt tot eindproduct alvorens ze voor patiënten kunnen worden gebruikt. Met de aanwezigheid van een faciliteit die medische isotopen (halfabrikaten) produceert, kan dan ook niet worden gegarandeerd dat de *eindproducten* terecht zullen komen op de Nederlandse markt. Binnen de Europese Unie geldt dat lidstaten ten aanzien van *geneesmiddelen* waarvoor een (dreigend) tekort geldt, beperkingen kunnen opleggen zodat deze niet onbeperkt mogen worden geleverd aan andere lidstaten. Een dergelijke uitvoerbeperking die een beperking van het vrij verkeer van goederen oplevert, moet voldoen aan strikte voorwaarden uit het EU-Verdrag en kan niet lichtvaardig worden ingevoerd. Exportbeperkingen naar landen buiten de Europese Unie dienen in beginsel op Europees niveau te worden vastgesteld en zijn alleen mogelijk om een crisistoestand veroorzaakt door schaarste aan essentiële goederen te voorkomen of te ondervangen.

Vragen en opmerkingen van de CDA-fractie

Vraag 1

Nederland is met het onderzoek in Petten vooraanstaand op het gebied van de ontwikkeling van nucleaire medicijnen. De leden van de CDA-fractie vragen hoe de minister zorgt dat deze kennis in Nederland blijft.

Antwoord 1

Met de komst van de Pallas-reactor kan deze positie behouden blijven en daarnaast verder worden uitgebouwd. Het niet vervangen van de HFR-reactor heeft behalve effect op de in Nederland opgebouwde (medische) nucleaire kennisinfrastructuur ook gevolgen voor de voorzieningszekerheid, de leveringsketen en de werkgelegenheid in Noord-Holland. Het RIVM gaat uit van een verlies van ongeveer 1000 banen op de Petten site en ongeveer hetzelfde aantal bij toeleveranciers. Nederland zou kunnen proberen om haar nucleaire en medische kennis verder behouden en te ontwikkelen door middel van samenwerking met andere landen.

De mogelijke vestiging van SHINE in Groningen zal een positieve impuls geven aan de versterking van de medisch-nucleaire kennisinfrastructuur, onder meer door samenwerking tussen SHINE en het Universitair Medisch Centrum Groningen. De vestiging in Groningen levert ook extra werkgelegenheid op.

Vraag 2

De minister schrijft dat de Hoge Flux Reactor (HFR te Petten, Nederland) en BR-2-reactor (Mol, België) samen 60% van de wereldvraag aan molybdeen-99 voor hun rekening nemen. De leden van de CDA-fractie vragen of de minister kan aangeven hoe de verdeling tussen deze twee reactors hierbij is.

Antwoord 2

De Belgische BR2-reactor heeft volgens een rapport van de OECD-NEA een bestralingscapaciteit van maximaal 136.500 molybdeen-99 Ci, de Nederlandse HFR maximaal 241.800 Ci.² De productiecapaciteit en de daadwerkelijke productie zijn van

² De genoemde hoeveelheid Molybdeen-99 wordt gemeten in 6 dagen curie. Omdat molybdeen-99 relatief snel

meerdere factoren afhankelijk, waaronder het aantal draaidagen van de reactor, andere taken van de reactor zoals het doen van (materiaal)onderzoek, maar ook de (hoeveelheid) ruimte in de reactor die geschikt is voor het bestralen van isotopen. De verwachting is dat de HFR 275 dagen kan produceren en de BR2-reactor 147 dagen.

Vraag 3

In een studie in opdracht van de Europese Commissie wordt geconcludeerd dat een nieuwe reactor nodig is om de oudere reactoren op termijn te vervangen en zo de voorzieningszekerheid in Europa veilig te stellen. De nieuw te bouwen Pallas-reactor zou volgens de minister hiervoor de meest waarschijnlijke kandidaat zijn. De leden van de CDA-fractie vragen of de minister nader kan toelichten waarom de Pallas-reactor hiervoor de meest waarschijnlijke kandidaat is. Kan nader worden toegelicht van welke factoren dit afhankelijk is?

Antwoord 3

De toenemende vraag naar medische isotopen, met name therapeutische isotopen, kan naar verwachting niet volledig worden ingevuld door bestaande productiefaciliteiten. Een nieuw initiatief vergt een lange voorbereidingstijd, en neemt van planvorming tot daadwerkelijke productie op grote schaal zeker zo'n 10-15 jaar in beslag. Op dit moment is de Pallas-reactor hiervoor de meest waarschijnlijke kandidaat omdat dit het meest vergevorderde initiatief is in Europa. Innovatieve technologieën zoals SHINE en SMART zijn veelbelovend en kunnen indien ze slagen een belangrijke bijdrage leveren aan de voorzieningszekerheid van medische isotopen. Echter zijn deze initiatieven vooral gericht op de meest gebruikte diagnostische isotoop, molybdeen-99. Zoals benoemd in mijn brief van 11 maart jl. kunnen de deeltjesversnellers maar een beperkt aantal therapeutische isotopen produceren in tegenstelling tot reactoren, die wel een breed scala aan diagnostische en therapeutische isotopen kunnen produceren.

Vraag 4

Volgens het RIVM kan het bedrijf SHINE straks 30% van de wereldmarkt bedienen. De leden van de CDA-fractie vragen of dat betekent dat er dan overcapaciteit kan ontstaan. Zijn cijfers beschikbaar over de verwachte vraagontwikkeling, zowel ten aanzien van onderzoek met medische isotopen als ten aanzien van medische isotopen die geneesmiddel zijn?

Antwoord 4

SHINE spreekt zelf de verwachting uit 30% van de wereldmarkt van het diagnostische isotoop molybdeen-99 te kunnen voorzien, wanneer de faciliteit in de Verenigde Staten volledig in bedrijf is genomen. Het RIVM heeft deze claim echter niet zelf kunnen onderzoeken of verifiëren. Op het moment dat zowel de Pallas-reactor als SHINE in bedrijf zijn in Nederland, en beide de wereldmarkt voorzien van molybdeen-99, zou er mogelijk overcapaciteit kunnen ontstaan. Of dit daadwerkelijk gebeurt, is onder meer afhankelijk van wanneer de oude reactoren sluiten en nieuwe initiatieven de markt betreden. Vanwege de beperkte houdbaarheid van isotopen kan er geen voorraad opgebouwd worden en zal er altijd een bepaalde overcapaciteit nodig zijn. Op die manier hoeven er geen tekorten te ontstaan als gevolg van benodigde onderhoudstops van productiefaciliteiten. Momenteel worden de onderhoudsschema's van reactoren op elkaar afgestemd, om te voorkomen dat faciliteiten tegelijk in onderhoud zijn. Op de markt voor therapeutische isotopen zal de rol van SHINE kleiner zijn, omdat SHINE een beperkt aantal therapeutische isotopen kan produceren.

vervalt en de hoeveelheid ieder uur lager wordt (na 66 uur is nog maar de helft van de beginhoeveelheid over), zit in deze maat ook het tijdstip waarop de (overgebleven) radioactiviteit wordt gemeten. Dat is 6 dagen nadat het materiaal is geproduceerd.

Inschattingen van de verwachte vraagontwikkeling kunt u vinden in het u toegezonden RIVM rapport. Ook het SMER 2 rapport dat Technopolis in opdracht van de Europese Commissie heeft opgesteld en dat op korte termijn openbaar zal worden, gaat hierop in. Ik wijs er wel op dat alle rapporten aangeven dat de prognoses een hoge mate van onzekerheid kennen, omdat het veelal gaat om medicijnen die nog in ontwikkeling zijn en er tientallen jaren vooruit gekeken wordt.

Vraag 5

Klopt het dat de huidige isotopenmarkt voornamelijk bestaat uit de rijkere landen en is de minister met de leden van de CDA-fractie van mening dat deze markt zou moeten groeien, zodat op termijn alle mensen op de wereld gediagnostiseerd en behandeld kunnen worden? Is in de behoefteraming voor productie van medische isotopen rekening gehouden met de gehele wereldmarkt?

Antwoord 5

In de behoefteraming en de analyses naar de marktontwikkeling wordt naar de wereldmarkt gekeken. Daaruit blijkt bijvoorbeeld dat met name in Azië een groeiende vraag naar molybdeen-99 wordt verwacht.

Vraag 6

De minister wil zich ervoor inzetten om voor medische isotopen tot een kostendekkende prijs te komen. De leden van de CDA-fractie vragen waarom dat nu nog niet het geval is. Wie krijgt dan de winst in de keten aangezien de vraag stijgend is? Is de minister het met de leden van de CDA-fractie eens dat de prijs opslag dient te bevatten om bijvoorbeeld over 40 jaar de reactor verantwoord op te ruimen en geld te hebben om een nieuwe te bouwen? Wordt dat nu meegenomen?

Antwoord 6

Zoals in de brief van 9 december 2020 beschreven zijn de prijzen de afgelopen jaren gestegen. Per land met een onderzoeksreactor verschilt het in hoeverre *full cost recovery* bereikt is. Een van de redenen waarom dit langzaam verloopt is dat medische isotopen van oorsprong een 'bijproduct' zijn van door overheden gesubsidieerde onderzoeksreactoren, die met name energie- en materiaalonderzoek uitvoerden. De reactoren die momenteel medische isotopen produceren, zijn (ooit) door een overheid als onderzoeksreactor betaald en gebouwd. Een aantal landen geeft aan dat zij inmiddels alle kosten meenemen in de gevraagde prijs voor de isotopen. Het bestralen van isotopen in reactor maakt maar een klein deel uit van het totale productieproces van medische isotopen en bepaalt ook slechts een beperkt deel van de uiteindelijke kosten die ziekenhuizen moeten betalen. Na de bestraling moeten nog diverse bewerkingen worden uitgevoerd om de radio-isotopen geschikt te maken voor medische toepassingen. De business case van de Pallas-reactor voor medische isotopen gaat uit van kostendekkende prijzen, zodat ook de bouwkosten op termijn kunnen worden terugverdiend. Ook de kosten voor de toekomstige ontmanteling van de reactor zijn daarin meegenomen.

Vraag 7

De minister schrijft over een mogelijke beroepsprocedure bij de Raad van State. De leden van de CDA-fractie vragen van wie zij een beroepsprocedure verwacht.

Antwoord 7

Bij uitvoering van grote projecten, zoals het Pallas-project, is het in zijn algemeenheid gebruikelijk om in de planning rekening te houden met een mogelijke beroepsprocedure bij de Raad van State.

Vraag 8

De uitstaande leningen van de overheden (waaronder de Provincie Noord-Holland) bedragen op dit moment 148 miljoen euro. De leden van de CDA-fractie vragen of de minister kan bevestigen dat in het businessplan deze leningen (met rente) terugbetaald moeten worden.

Antwoord 8

Het uitgangspunt is dat de verstrekte leningen inclusief rente worden terugbetaald. De kosten kunnen worden terugverdiend met de verkoop van medische isotopen.

Vraag 9

De minister schrijft dat zij SHINE en Pallas gelijke kansen wil bieden. De leden van de CDA-fractie vragen over welke zaken er daarbij gesproken wordt.

Antwoord 9

Voor het antwoord op deze vraag wil ik verwijzen naar mijn antwoorden op de vragen 4 en 7 van de leden van de VVD-fractie.

Vraag 10

De leden van de CDA-fractie vragen of de minister de zorgen deelt van de in het FD³ genoemde voorzitter van de Nederlandse Vereniging voor Nucleaire Geneeskunde (NVNG) dat de leveringszekerheid van medische isotopen in gevaar kan komen door langdurige onzekerheid over de komst van een nieuwe reactor.

Antwoord 10

Zoals benoemd in de brief van 9 december 2020 wordt in een studie die is gedaan in opdracht van de Europese Commissie (gepubliceerd in februari 2019) geconcludeerd dat er een nieuwe reactor nodig is om de oudere reactoren (die vaker onderhoud, renovatie of vervanging van onderdelen nodig hebben) op termijn te vervangen en zo de voorzieningszekerheid in Europa veilig te stellen. Zonder een nieuwe reactor zouden zich op termijn tekorten kunnen voordoen die effect hebben op de levering van medische isotopen aan Nederland. Om de voorzieningszekerheid op lange termijn te kunnen waarborgen moet een besluit genomen worden over een nieuw te bouwen reactor. Een nieuw initiatief vergt namelijk een lange voorbereidingstijd, van planvorming tot daadwerkelijke productie op grote schaal neemt dit zeker zo'n 10-15 jaar in beslag. Gezien de hoogte van de investeringen en de risico's wil ik een definitief besluit aan een nieuw kabinet laten. Hoewel ik langdurige onzekerheid over de komst van een nieuwe reactor onwenselijk acht, zie ik hierin op korte termijn geen gevaar voor de voorzieningszekerheid van medische isotopen.

Vraag 11

De leden van de CDA-fractie vragen of het klopt dat alternatieve productiemethodes wel mogelijkheden kunnen gaan bieden op het gebied van isotopen voor diagnosestelling, maar dat voor het overgrote deel van de huidige en nieuw te onderzoeken isotopen voor behandeling van kanker en andere ziekten (therapie) een reactor nodig blijft. Deze leden vragen verder wat de verwachtingen zijn ten aanzien van de behoefte aan deze therapeutische isotopen, voor Nederland, Europa en wereldwijd. Klopt het dat er juist behoefte is aan reactoren en alternatieve productiemethodes, omdat er wereldwijd diverse reactoren gesloten zullen worden de komende jaren, waardoor er op termijn een tekort aan productiefaciliteiten dreigt?

Antwoord 11

Op dit moment is de complexe versneller techniek (zoals de projecten SHINE en SMART)

³ FD, 10 december 2020, "Kankerpatiënten de dupe als nieuwe reactor niet doorgaat"

vooral gericht op de meest gebruikte diagnostische isotoop, molybdeen-99. Hoewel SHINE en SMART gebruik maken van een versneller, verschillen de technieken onderling van elkaar. SMART is ingericht voor de productie van molybdeen-99, en wil dit produceren door middel van het bestralen van het target molybdeen-100. Zowel bij Pallas als bij SHINE wordt molybdeen-99 geproduceerd door uranium te splijten. Hierbij ontstaan ook andere bruikbare splijtingsproducten zoals jodium-131, dat onder meer gebruikt wordt voor schildklieraandoeningen. Bij Pallas wordt de productie aangedreven door een reactorkern met splijtstof en bij SHINE door meerdere versnellers. De verwachting is dat de marktvraag naar therapeutische isotopen de komende jaren sterk zal toenemen. Echter, de verwachting is niet dat complexe versnellers op korte termijn (binnen enkele tientallen jaren) in staat zijn om alle door reactoren geproduceerde isotopen te maken. Een reactor kan een breed scala aan isotopen produceren, zowel diagnostisch als therapeutisch. Op dit moment zie ik, vanuit het oogpunt van voorzieningszekerheid, een nieuwe reactor als beste waarborg.

Vraag 12

De leden van de CDA-fractie vragen wanneer de huidige HFR uit productie zal worden genomen. Wordt er genoeg tijd genomen voor een vloeiende overgang tussen de HFR en Pallas? Kan de minister de veiligheid van de HFR blijven garanderen na 2024?

Antwoord 12

In de brief van 9 december 2020 heb ik aangegeven te willen kijken naar de mogelijkheid om de HFR langer in bedrijf te houden. Ik heb een technisch adviseur (MACE) gevraagd naar deze mogelijkheid te kijken en deze is van mening dat NRG – de huidige exploitant van de HFR – de juiste maatregelen neemt om de reactor veilig te opereren en de betrouwbaarheid te waarborgen. Op basis hiervan geeft de technisch adviseur aan dat te veronderstellen is dat de HFR in ieder geval tot 2030 in bedrijf kan blijven. De ANVS ziet erop toe dat de HFR voldoet aan alle veiligheidseisen. Voor verdere onderbouwing hiervan verwijs ik naar mijn brief van 11 maart 2021. Door het langer in bedrijf houden van de HFR zou het mogelijk moeten zijn om een vloeiende overgang tussen de HFR en de nieuwe Pallas-reactor te realiseren.

Vraag 13

De leden van de CDA-fractie vragen ten slotte wat de stand van zaken is met betrekking tot de overbrenging van historisch afval van Petten naar Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) en de financiële afhandeling daarvan.

Antwoord 13

Het afvoeren van het historisch afval van Petten is samen met de (toekomstige) ontmanteling van gebouwen op de onderzoeklocatie in Petten ondergebracht in het *Radioactive Waste Management Programme* (RWMP). In de beantwoording van het Schriftelijk Overleg Nucleaire Veiligheid⁴ (Kamerstukken 25 422 en 25 268, nr. 268) is aangegeven dat er een achterstand in het verwerken van het historisch afval is. Deze vertraging leidt tot beperkte extra kosten die samenhangen met de langere doorlooptijd en benodigde personele inzet en daarnaast zijn er extra kosten die voortvloeien uit de aangepaste afvoerroute van het afval naar COVRA. NRG heeft recentelijk meer bottom-up onderzoek gedaan om de kosten voor het opruimen en afvoeren van het historisch, radioactief afval te actualiseren en heeft het Britse bureau Atkins gevraagd om hetzelfde te doen voor de ontmanteling van gebouwen en installaties. Deze onderzoeken zitten in een afrondende fase. De Kamer zal hier nader over worden geïnformeerd. Overigens is het goed om hierbij op te merken dat het historisch afval

⁴ Kamerstuk 25 422, nr. 271.

ontstaan is door het doen van experimenten voor materiaalonderzoek en onderzoek naar innovatieve vormen van kernenergie, en dat dit afval geen relatie heeft met de productie van medische isotopen.

Vragen en opmerkingen van de D66-fractie

Vraag 1

De leden van de D66-fractie hebben allereerst vragen over de verschillende isotopen die kunnen worden geproduceerd. Zij begrijpen dat niet alle medische isotopen die met een reactor kunnen worden gemaakt ook door een versneller kunnen worden gemaakt, en andersom. Om te begrijpen wat dit betekent voor de therapieën en diagnostiek van patiënten, ontvangen zij graag concretere cijfers. Hoeveel medische isotopen kunnen wel met een reactor worden gemaakt (in procenten en aantal verschillende isotopen), maar niet met een versneller, en andersom? Is de verwachting dat dit in de toekomst verandert? Welk aandeel nemen deze medische isotopen in, in de totale productie, als wordt gekeken naar de huidige wereldwijde productie? Om de behandeling of diagnostiek voor welke behandelingen gaat het? Tevens vragen deze leden of er voor deze isotopen een alternatief voor handen voor patiënten. Voorts vragen deze leden of het de verwachting is dat reactoren of juist versnellers een grotere rol kunnen spelen in de ontwikkeling van nieuwe therapeutische isotopen. Dit lijkt hen relevant voor de toekomstige waarde en het toekomstig belang van een reactor respectievelijk een versneller in Nederland.

Antwoord 1

In de bijlage is een afbeelding (Figuur 1) opgenomen, waarin de 39 meest gangbare medische isotopen zijn opgenomen. Dit figuur laat zien welke verschillende medische isotopen het meest effectief in een reactor, versneller (cyclotron), of door beide (dual) kunnen worden gemaakt. Daarbij moet worden opgemerkt dat in dit figuur versnellers of cyclotrons worden bedoeld die onder andere in de buurt van ziekenhuizen staan. Van deze 39 isotopen worden er 14 (36%) uitsluitend in reactoren geproduceerd, 15 (38%) uitsluitend in versnellers, en 10 (26%) ervan zijn op beide manieren te produceren. Naast de bestaande versnellers (cyclotrons) en reactoren worden nieuwe technieken ontwikkeld. Deze complexe versneller-technieken, zoals SHINE en SMART, zijn vooral gefocust op molybdeen-99. Bij de techniek die SHINE gebruikt wordt voor de productie van molybdeen-99 uranium gesplitst. Bij deze splitsing ontstaan ook een aantal andere isotopen, zoals jodium-131. In de toekomst zouden deze complexe versnellers mogelijk ook gebruikt kunnen worden voor de productie van andere therapeutische isotopen.

In een aantal gevallen kan een isotoop technisch gezien ook door middel van een andere productiemethode (versneller of reactor) gemaakt worden, maar is dit niet 'effectief'. Hierbij spelen vragen een rol als: 'Wat voor apparatuur heb je nodig?', 'Hoeveel kan je produceren in een week?', 'Welk mengsel van stoffen blijft over, en is dat (chemisch gezien) goed te zuiveren?', 'Wat zijn de reststoffen die ontstaan?' Is dat waardevolle grondstof voor iets anders, of duur afval?' en ook 'Hoe ziet het *overall* kostenplaatje eruit?' Al die factoren bepalen of een isotoop een reactor- of versneller isotoop is.

De vraag welk aandeel elke productiemethode inneemt in de totale productie, als gekeken wordt naar de huidige wereldwijde productie, kan niet goed worden beantwoord. Kennis over de actuele productie, productiecapaciteit en vraag naar deze stoffen is commerciële en concurrentiegevoelige informatie. Het is zelfs niet precies bekend hoeveel er van bepaalde stoffen wordt gebruikt in de Nederlandse ziekenhuizen. Dat komt omdat de declaratiecodes die in ons zorgsysteem gebruikt worden onvoldoende gedetailleerd zijn om al deze stoffen

apart in beeld te brengen. In het rapport van het RIVM dat als bijlage is meegestuurd bij de brief van 9 december 2020 is (Bijlage bij Kamerstuk 33 626, nr. 13) – voor zover bekend – voor de meest gebruikte reactor-geproduceerde medische radionucliden weergegeven of de stoffen gebruikt worden voor diagnose of therapieën en hoe vaak zij op dit moment per jaar in Nederland worden toegepast.

In de bijlage wordt daarnaast een overzicht gegeven van de verschillende isotopen en waar deze voor worden gebruikt. Elk isotoop heeft unieke eigenschappen en toepassingen, en het ene product is niet zomaar uitwisselbaar met het andere. Voor diagnose is beeldvorming met behulp van radioactieve stoffen voor bepaalde aandoeningen ongeëvenaard. Voor andere aandoeningen is een ultrasound- of MRI-scan (zonder straling), of een CT-scan (röntgen) beter geschikt. Kanker kan bijvoorbeeld ook met uitwendige bestraling en chemotherapie worden bestreden. De behandelend arts maakt per patiënt een afweging welke therapie (of een combinatie van therapieën) het beste is. Daarbij wordt op basis van de stand van de medische wetenschap gekeken naar overlevingskansen voor de patiënt, te verwachten bijwerkingen, de soort kanker, het stadium waarin de ziekte zich bevindt, de algehele conditie van de patiënt, etc.

Vraag 2

De leden van de D66-fractie vragen de minister voorts nader in te gaan op de toekomstige voorzieningszekerheid van medische isotopen. Zij lezen in de brief van de minister dat het innovatieve karakter van nieuwe productietechnologieën (niet-reactor), zoals SMART en SHINE, wel de nodige onzekerheid met zich meebrengt. De techniek zou zich nog niet op productieschaal hebben bewezen. Heeft de techniek wel al op kleinere schaal veelbelovende leveringsresultaten getoond? Is deze onzekerheid er in veel mindere mate bij de voorgenomen Pallas-reactor? In hoeverre is daarbij sprake van nieuwe productietechnologie en in hoeverre wordt gebruikgemaakt van technologie uit de bestaande reactoren, die veelal 45 jaar of ouder zijn?

Antwoord 2

SHINE zegt dat er een “proof of concept” is, de verschillende onderdelen gebaseerd zijn op bewezen technologieën, die nu geïntegreerd moeten worden in de productiefaciliteit die gebouwd wordt in de Verenigde Staten. De techniek van een reactor voor de productie van medische isotopen heeft zich al op productieschaal bewezen. De Pallas-reactor maakt gebruik van bestaande technologie, maar deze is wel aangepast aan de huidige stand van de techniek en de ervaringen die onder andere zijn opgedaan bij de HFR en de in Australië gebouwde OPAL-reactor.

Vraag 3

De leden van de D66-fractie hebben tevens vragen over de financiën en business case van de Pallas-reactor. In de zomer van 2019 meldde de toenmalige minister voor Medische Zorg (Bruins) nog dat er in 2020 een definitief akkoord zou moeten liggen over de financiering van de nieuwe reactor, zodat de bouw in de loop van 2021 zou kunnen starten. Hij zei hierover: “Dit is een mijlpaal; een belangrijke stap. Er is nog veel werk aan de winkel, maar nu zich meerdere private investeerders hebben gemeld kunnen we echt aan de slag.” Inmiddels is gebleken dat dit toch niet zo eenvoudig is, vanwege de “mix van risico’s die samenhangen met een groot, complex (nucleair) bouwproject in combinatie met nog onzekere omzetverwachtingen.” Deze leden vragen in hoeverre dit niet voorzienbaar was. Klopt het dat de lage prijs voor medisch isotopen al jaren bekend is, net als de grote kosten die met dit bouwproject gemoeid zouden zijn? Erkent de minister dat dit een misrekening is geweest? Kan zij nader toelichten waar de 128 miljoen euro aan leningen tot op heden aan is besteed? Welke ontwikkelingen van het project worden met de nieuwe leningen gecontinueerd?

Voorts ontvangen genoemde leden graag nadere onderbouwing van de business case zelf. Verwacht de minister dat nieuwe initiatieven de toekomstige marktpositie van Pallas kunnen schaden? Is het realistisch dat nieuwe initiatieven in de toekomst vergelijkbare isotopen tegen een lagere prijs kunnen gaan produceren? Hoeveel jaar moet de Pallas-reactor zijn geplande afzet realiseren om de kosten terug te verdienen en rendabel te worden? Kan de business case van de Pallas-reactor (al dan niet vertrouwelijk) met de Kamer worden gedeeld

Antwoord 3

In de zomer van 2019 was de verwachting van Stichting Pallas dat er goede mogelijkheden waren om op korte termijn private investeerders aan te trekken. Deze verwachting was gebaseerd op de toen voorliggende business case, het contract met het bouwconsortium ICHOS waarin de mogelijkheid was opgenomen om een belangrijk deel van de bouwrisico's bij ICHOS neer te leggen en op basis van de toen lopende gesprekken met potentiële investeerders.

In de brief van 9 december 2020 is aangegeven dat er tot dat moment 148 miljoen euro aan leningen aan Pallas is verstrekt door de Staat en de Provincie Noord-Holland. Dit geld is gebruikt voor de voorbereidende werkzaamheden ten behoeve van de nieuwe onderzoeksreactor, waaronder het ontwerp, de aanbesteding en de vergunningsprocedure. Bij dergelijke technische complexe projecten is het gebruikelijk dat de voorbereiding relatief veel tijd en geld kost. Pallas heeft ook scenario's doorgerekend waarbij een deel van de markt voor diagnostische isotopen wordt overgenomen door nieuwe initiatieven zoals SHINE, en ook in die scenario's blijft er sprake van een positieve business case. Op het moment dat zowel de Pallas-reactor als SHINE in bedrijf zijn in Nederland, en beide de wereldmarkt voorzien van molybdeen-99, zou er mogelijk overcapaciteit kunnen ontstaan. Of dit daadwerkelijk gebeurt, is onder meer afhankelijk van wanneer de oude reactoren sluiten en nieuwe initiatieven de markt betreden. Overigens zal er altijd een bepaalde overcapaciteit nodig zijn om tekorten te voorkomen. Momenteel worden de onderhoudsschema's van reactoren op elkaar afgestemd, om te voorkomen dat faciliteiten tegelijk in onderhoud zijn. Op de markt voor therapeutische isotopen zal de rol van SHINE kleiner zijn, omdat SHINE een beperkt aantal therapeutische isotopen kan produceren. Het is nog niet duidelijk welke prijzen SHINE gaat hanteren. In mijn brief van 11 maart 2021 geef ik aan dat Pallas in circa 20 jaar de investeringen kan terugverdienen uit de verkoop van medische isotopen. In deze brief ben ik ook uitgebreid ingegaan op de stand van zaken van het Pallas-project, inclusief het investeringsvoorstel, opbrengsten, kosten en een onafhankelijke analyse die ik daarop heb laten doen.

Vraag 4

De leden van de D66-fractie constateren dat de minister het als een onwenselijke situatie beschouwt dat private financiering alleen mogelijk lijkt met vergaande garanties van de overheid. Bij de overname van Sanquin Plasma Products door private partijen zag de minister diverse overheidsgaranties niet als onoverkomelijk. Kan de minister nader toelichten welke garanties in dit geval precies te ver gaan? Ziet zij nog enige mogelijkheid om via onderhandelingen op een punt te komen dat de garanties wel acceptabel zouden zijn, of is dit in haar ogen een gepasseerd station?

Antwoord 4

Er is sprake van een groot complex bouwproject, in combinatie met een onzekere omzetverwachting. De combinatie van risico's maakt dat private partijen voorzichtig zijn. Deze partijen zijn op zoek naar aanvullende garanties op omzetverwachtingen en bouwkosten

en willen op dit moment nog niet instappen. Daarnaast is er een risico dat er uiteindelijk geen vergunning wordt verleend of dat de huidige reactor door technische problemen eerder uit bedrijf moet. Dit zou de onwenselijke situatie opleveren waarin private partijen de zeggenschap hebben, terwijl aanzienlijke risico's bij de Staat blijven liggen. Zo zouden private partijen commerciële contracten van NRG willen overnemen, maar willen deze partijen geen risico's lopen op de HFR en ook niet verantwoordelijk worden voor het historisch afval. Het doorzetten van de route met private financiering is op dit moment niet zinvol, maar dit zou op een later moment heroverwogen kunnen worden als de risico's (bijvoorbeeld als de bouw afgerond is) wel te dragen zijn door private partijen. Private financiering is niet definitief van de baan, maar op dit moment niet aan de orde. Bij de overname van Sanquin Plasma Products zijn door de overheid geen garanties verstrekt.

Vraag 5

De leden van de D66-fractie willen voorts graag stilstaan bij het gelijke speelveld voor SHINE en Pallas, conform de motie (Kamerstukken 29 477 en 32 805, nr. 680) die zij daarover met andere partijen hebben ingediend. In hoeverre staat de financiering van Pallas de komst van SHINE definitief in de weg? Is er een kans aanwezig dat beide in Nederland zijn gevestigd, of ziet de minister het als een keuze tussen een van beide? Welke van de twee zou naar verwachting sneller up-and-running kunnen zijn en voor welk aandeel in de (wereldwijde) productie van medisch isotopen? Deze leden vragen of zij verder de grootte van het verschil in duurzaamheid tussen beide productietypen kan schetsen.

Antwoord 5

Ik heb meermaals met SHINE gesproken omdat zij binnenkort een definitieve keuze willen maken over de eventuele vestiging in Nederland. Hierbij heb ik aangegeven SHINE en Pallas gelijke kansen te willen bieden, de financiering van Pallas zou de komst van SHINE dus niet in de weg moeten staan. De voorzieningszekerheid van medische isotopen staat voorop, en ik denk dat zowel SHINE als Pallas in Nederland naast elkaar kunnen bestaan. SHINE stelt zelf in 2025 in bedrijf te willen zijn in Nederland. De fabriek van SHINE in de Verenigde Staten is op dit moment in aanbouw. Deze kan naar verwachting eind 2022 starten met de productie en zal het daaropvolgende jaar opgeschaald worden. De bouw van de Pallas-reactor loopt, naar verwachting, van 2023 tot 2028. De start van de productie (*commercial operation date*) is nu gepland voor 2029-2030. Voor de goede orde merk ik op dat de bestaande HFR tot die tijd de productie van medische isotopen voor zijn rekening neemt. Zowel bij Pallas als SHINE wordt molybdeen-99 geproduceerd door uranium te splijten en komen dus in principe ook dezelfde soorten radioactieve isotopen vrij als radioactief afval. Omdat bij Pallas de productie aangedreven wordt door een reactorkern en bij SHINE door een versneller zal naar verwachting de hoeveelheid radioactief afval bij Pallas groter zijn. De grootte van het verschil in duurzaamheid tussen beide productietypen is echter lastig te schetsen. Er is nog weinig bekend over de efficiëntie van SHINE, de exacte (chemische) samenstelling van het afval, volumes van het afval, mogelijke verwerkingsroutes daarvan en overige afvalstromen. Daarnaast produceert Pallas ook andere medische isotopen naast molybdeen-99, die SHINE niet zal produceren. De gesprekken met SHINE over de impact voor het milieu en de nucleaire veiligheid van hun installatie, en de verwachte bedrijfsduur zijn nog in de beginfase, dit maakt een vergelijking tussen de duurzaamheid van beide productietypen lastig in te schatten. Op dit moment heeft SHINE nog geen detailinformatie verstrekt over het karakter en de hoeveelheid van het te verwachten radioactieve afval.

Vraag 6

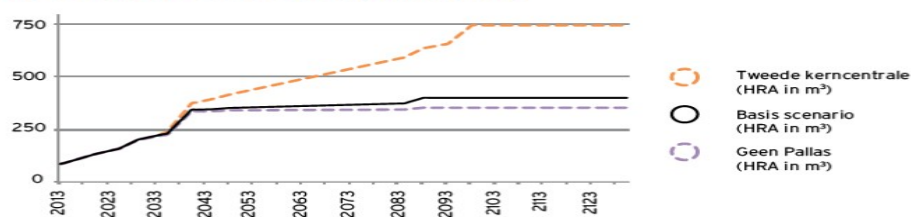
De leden van de D66-fractie vernemen tot slot graag wat de omvang van het radioactief afval van de Pallas-reactor zal zijn, hoe dat zich verhoudt tot het afval dat door een kerncentrale

wordt geproduceerd, hoe de verwerking van dit afval zal geschieden, welke impact dit op het milieu kan hebben en welke risico's de productie voor omwonenden met zich meebrengt.

Antwoord 6

In de inventaris die bij het nationale programma voor het beheer van radioactief afval en verbruikte splijtstoffen in 2014 is opgesteld, is onderzocht wat de invloed is van de komst van de Pallas-reactor op de hoeveelheid hoogradioactief afval in Nederland. In dit onderzoek wordt geschat dat het totale volume hoogradioactief afval in 2130 12% lager is zonder een reactor zoals Pallas. De vergelijking met een nieuwe kerncentrale is niet gemakkelijk te maken. Dat is afhankelijk van type en omvang. Uit eerdergenoemde inventaris blijkt dat het hebben van nog een kerncentrale, vergelijkbaar met een kerncentrale Borssele, met een bedrijfsduur van 60 jaar, zou leiden tot een toename in volume hoogradioactief afval van ca. 86% in 2130.⁵ De kerncentrale Borssele is echter een relatief kleine kerncentrale en de verwachting is dat een nieuwe energiecentrale een grotere omvang zal hebben. In het onderstaande figuur (overgenomen uit de 'Inventaris radioactief afval') wordt het effect van het vervangen van de huidige kerncentrale Borssele en van het niet bouwen van de Pallas-reactor op de hoeveelheid hoogradioactief afval in 2130 weergegeven.

Een onzekerheid die met name doorwerkt in de hoeveelheid HRA is de aanwezigheid van operationele, nucleaire installaties in Nederland. Bij het opstellen van de inventaris is rekening gehouden met PALLAS. Zonder PALLAS zou de inventaris HRA 12% kleiner zijn (8% warmteproducerend plus 4% niet-warmteproducerend). Mocht in 2034 de KCB opgevolgd worden door een vergelijkbare kerncentrale met een levensduur van 60 jaar, dan zou de inventaris HRA ca. 86 % toenemen (36% warmteproducerend plus 50% niet-warmteproducerend).



Figuur 7: Het effect van vervanging van de kerncentrale of het niet bouwen van PALLAS op de hoeveelheid HRA tot en met 2130.

Pallas heeft aangegeven dat het hoogradioactieve afval van de Pallas-reactor na een afkoelperiode afgevoerd wordt naar COVRA (net als het hoogradioactief afval uit de huidige onderzoeksreactoren in Petten en Delft). Voor de verwerking en de opslag van het radioactieve afval geldt, net zoals dat nu het geval is voor het afval van de nucleaire installaties, dat het moet voldoen aan de wet- en regelgeving op het gebied van milieu en veiligheid. Deze aspecten komen bij een vergunningstraject uitgebreid aan de orde. De ANVS ziet erop toe dat aan alle randvoorwaarden voor een veilig beheer voldaan wordt.

Vragen en opmerkingen van de ChristenUnie-fractie

Vraag 1

De leden van de ChristenUnie-fractie lezen in de brief dat de minister haar intentie herhaalt om SHINE en Pallas gelijke kansen te willen geven in de bouw van een nieuwe reactor. Genoemde leden zijn echter van mening dat de publieke leningen aan Pallas van circa 180 miljoen euro een ander beeld geven. Zij willen van de minister weten welke garanties er zijn dat deze leningen worden terugbetaald. Welke financiële of andere steun mag SHINE van de overheid verwachten, zodat een gelijk speelveld wordt gerealiseerd?

Antwoord 1

⁵ Inventaris radioactief afval in Nederland, via: [Afval-inventaris-definitief.indd \(covra.nl\)](https://www.covra.nl/afval-inventaris-definitief)

Pallas/NRG zal de leningen terug moeten betalen uit de verkopen van medische isotopen. In het investeringsvoorstel, waarover ik uw Kamer op 11 maart 2021 heb geïnformeerd, wordt de verwachting uitgesproken dat de investering in circa 20 jaar wordt terugverdiend. Pallas en SHINE kunnen beide bijdragen aan de voorzieningszekerheid, maar verschillen op een groot aantal punten van elkaar, onder meer in de gebruikte techniek, het aantal verschillende isotopen dat ze kunnen produceren en de wijze waarop ze ondersteund worden door overheden. Pallas zal kunnen voortbouwen op de kennis die door NRG is opgedaan met de HFR en SHINE Europe kan gebruik maken van de ervaringen die zijn opgedaan met de bouw van de productiefaciliteit in de Verenigde Staten. Ook de wijze waarop de financiering en de zeggenschap worden vormgegeven is verschillend. Omdat beide initiatieven van elkaar verschillen zal er geen sprake zijn van een gelijke aanpak, maar moet er sprake blijven een (gedifferentieerde) aanpak die is afgestemd op de initiatieven. Zoals eerder in deze beantwoording aangeven heb ik meermaals gesproken met SHINE. In deze gesprekken heb ik aangegeven dat ik SHINE en Pallas gelijke kansen wil bieden. Daarnaast heb ik begin januari 2021 een brief gestuurd aan SHINE, waarin ik toelicht dat de Nederlandse overheid, zowel op basis van Europese regelgeving, maar ook uit overtuiging, zich wil inspannen voor een gelijk speelveld. Om deze toezegging concreet te maken, heb ik in de brief ook aangegeven open te staan om de mogelijkheden van het verstrekken van een lening van € 10 miljoen te bespreken. Ik werk hierbij samen met de NOM, de investerings- en ontwikkelmaatschappij voor Noord-Nederland. Hierbij houd ik mij vanzelfsprekend aan vigerende wet- en regelgeving inclusief de staatssteunregels. SHINE heeft aangegeven de Nederlandse inspanning ten behoeve van een gelijk speelveld en de mate van inzet en steun die de Nederlandse regering op alle niveaus - nationaal, regionaal en lokaal - heeft getoond te waarderen. SHINE heeft de locatie in Groningen geselecteerd als voorkeurslocatie voor hun Europese productiefaciliteit voor medische isotopen en richt zich nu op de laatste onderhandelingen. Ik heb vertrouwen in de goede afloop daarvan.

Vraag 2

De leden van de ChristenUnie-fractie lezen ook dat private financiering van een nieuwe Pallas-reactor niet haalbaar is en dat volledig publieke financiering van een nieuwe Pallas-reactor als optie wordt opgehouden. Deze leden vragen de minister ook in dit licht wat SHINE mag verwachten van de overheid om de garantie van een gelijk speelveld waar te maken. Begrijpen deze leden het goed dat de minister aangeeft dat private financiering van de nieuwe Pallas-reactor nu niet realistisch is? Genoemde leden vragen de minister of dit niet een betekenisvol signaal is dat er op zijn minst vraagtekens zijn te plaatsen bij een nieuwe Pallas-reactor, gezien internationale ontwikkelingen voor de productie van isotopen en het feit dat er een privaat alternatief is.

Antwoord 2

Op dit moment ben ik van mening dat het voortzetten van private financiering niet zinvol is. Het kan de onwenselijke situatie opleveren waarin private partijen zeggenschap hebben, terwijl aanzienlijke risico's bij de Staat blijven liggen. Dit zou op een later moment heroverwogen kunnen worden als de risico's wel zijn te dragen door private partijen. Private financiering is niet definitief van de baan, maar op dit moment niet aan de orde. Voor een vergelijking tussen SHINE, dat overigens ook deels publiek gefinancierd wordt in de Verenigde Staten, en Pallas verwijs ik graag naar mijn brief van 11 maart 2021. Tot op heden zijn er geen voorbeelden van onderzoeksreactoren die privaat zijn gefinancierd. In de voornoemde brief geef ik aan dat - rekening houdend met alle ontwikkelingen - een nieuwe reactor de beste waarborg biedt voor de voorzieningszekerheid van medische isotopen. Gezien de forse investeringen en risico's die de ontwikkeling en bouw met zich brengt moet ook de vraag beantwoord worden wat deze waarborg ons waard is. Deze vraag zal het nieuwe

kabinet moeten beantwoorden.

Vraag 3

De leden van de fractie van de ChristenUnie willen benadrukken dat de keuzes van de minister voor de huidige leningen en de optie van publieke financiering van een nieuwe Pallas-reactor eraan bijdragen dat vestiging in Nederland voor SHINE minder aantrekkelijk wordt. Gegeven het feit dat SHINE naast Nederland een andere Europese optie overweegt, willen genoemde leden het belang onderstrepen van duidelijkheid over het speelveld. Deze leden vragen de minister om hierover meer duidelijkheid te bieden aan SHINE, voordat het Europese SHINE team een besluit neemt. Deze leden roepen de minister op niet een kans voorbij te laten gaan om een innovatief bedrijf zich in Nederland te laten vestigen en om leidend te blijven op het gebied van medische isotopen en nucleaire geneeskunde.

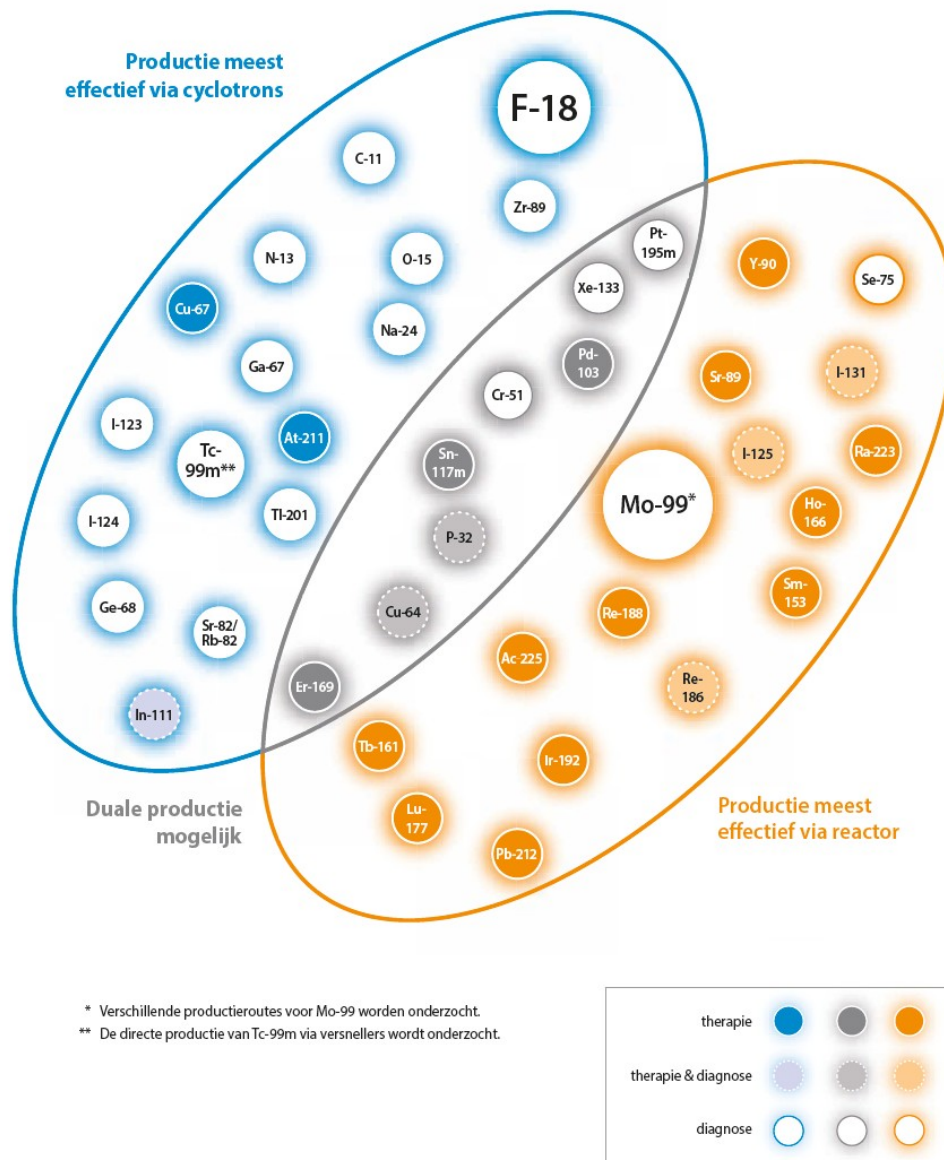
Antwoord 3

Graag verwijs ik hiervoor naar mijn antwoord op vraag 1 van de ChristenUnie-fractie. In aanvulling daarop is het goed om te vermelden dat de interesse van SHINE om zich in Nederland te vestigen, mede gebaseerd is op de kennisinfrastructuur op medisch-nucleair gebied die we momenteel in Nederland hebben – mede dankzij de HFR. Een nieuwe reactor levert hier een belangrijke bijdrage aan. Pallas en SHINE zouden elkaar kunnen versterken en de positie die Nederland op dit moment al heeft verder kunnen uitbouwen en daardoor mogelijk kunnen zorgen voor een snellere ontwikkeling van nieuwe kankertherapieën gebaseerd op isotopen.

Bijlage

Figuur 1: Productie meest effectief via cyclotrons, reactor of beide (bron: Nucleair Nederland)

Het is en-en



Het 'en-en'-figuur geeft een overzicht van de meest belangrijke reactorisotopen en versnellerisotopen. De overlappende ruimte geeft aan welke isotopen zowel met reactor als met een versneller kunnen worden geproduceerd. Het belang van de inzet van reactoren voor de productie van therapeutische isotopen blijkt duidelijk uit dit overzicht.

In aanvulling op figuur 1 moet opgemerkt worden dat het inmiddels kansrijk lijkt dat Actinium-225 duaal (zowel effectief met reactor als met versneller) geproduceerd kan worden. Mo-99 (aan de reactorkant) en Tc-99m (aan de versnellerkant) is een dubbeling, en

zou als Mo-99/Tc-99m in het vak 'duale productie' opgenomen kunnen worden. Ook loopt er veelbelovend onderzoek naar het produceren van koper-67 met kernreactoren.

Overzicht medische isotopen en de ziekten waarbij deze isotopen het meest worden toegepast [Zie ook RIVM rapport 2017-063, Productie en gebruik van medische radio-isotopen in Nederland: Huidige situatie en toekomstverkenning, paragraaf 3.1]
(Kamerstukken 25 422 en 30 196, nr. 203)

- koolstof-11: diagnostisch (PET) onderzoek naar een reeks kankertypen.
- stikstof-13: diagnostisch (PET) onderzoek naar hartziekten (hartperfusieonderzoek).
- zuurstof-15: diagnostisch (PET) onderzoek naar hartziekten (hartperfusieonderzoek).
- fluor-18: diagnostisch (PET) onderzoek naar Alzheimer, de ziekte van Parkinson en een reeks kankertypen.
- natrium-24: diagnostisch onderzoek naar de werking van het hart en het metabolisme. Wordt nog zeer weinig gebruikt.
- fosfor-32: het onder controle houden van ophoping van (buik- en long)vocht, veroorzaakt door kanker (maligne ascites), en voor een aantal bloedziektes (myeloproliferatieve ziekten).
- chroom-51: diagnostisch onderzoek naar de werking van de nieren (nierklaringsonderzoek), een zeer specifieke darmaandoening, en bij bepaalde bloedziekten.
- gallium-67: diagnostisch onderzoek naar infecties en bepaling van de hoeveelheid witte bloedlichaampjes.
- koper-64: Kan gebruikt worden voor diagnostiek (PET-scans), en ook toepassingen in therapie (zoals kwaadaardig melanoom) lijken mogelijk. Bevindt zich nog in het experimentele stadium. Door beperkte beschikbaarheid is koper-64 (nog) niet populair geworden.
- koper-67: Kent een belofte voor therapeutische/diagnostische toepassingen, maar is nog in een experimenteel stadium.
- germanium-68 / gallium-68: diagnostisch (PET) onderzoek naar een reeks kankertypen, vooral neuro-endocriene tumoren.
- selenium-75: diagnostisch onderzoek naar galziekten.
- krypton-81m: diagnostisch onderzoek naar de werking van de longen (longventilatieonderzoek).
- strontium-82/rubidium-82: diagnostisch (PET) onderzoek naar de werking van het hart (hartperfusieonderzoek).
- strontium-89: behandeling van de uitzaaiingen in het bot (botmetastasen) van prostaatkanker. De behandeling is palliatief: niet gericht op genezing, maar op pijnbestrijding.

- zirconium-89: Dit is een isotoop waarnaar nog onderzoek wordt gedaan. Het is niet in de handel als goedgekeurde diagnostische of therapeutische stof.
- yttrium-90: behandeling (radioembolisatie) bij leverkanker, een reeks andere kankertypen zoals non-hodgkin lymfoom en reumatische aandoeningen
- molybdeen-99/technetium-99m: diagnose (SPECT) van o.a. hartfalen, ziekten van het zenuwstelsel, de nieren, lever, schildklier, hersenen, longen, ontstekingen, in het algemeen, ontsteking van de galblaas, een reeks kankertypen
- palladium-103: Gebruikt als “zaadjes” (net als jodium-125) voor prostaatkanker therapie.
- indium-111: diagnose van infecties en diagnose en/of therapie voor een reeks kankertypen.
- tin-117m: gebruikt in honden, katten, paarden, kamelen en dromedarissen voor de behandeling van bepaalde ontstekingen. Er wordt onderzoek gedaan naar de toepassing op mensen.
- jodium-123: diagnoses van neuroblastoom, nierfalen, Parkinson, epilepsie, schildklierafwijkingen en hartziekten, hersenscans.
- jodium-124: diagnose (PET-scan), bv. van nierkanker. Niet populair omdat het de patiënt een relatief hoge stralingsdosis geeft.
- jodium-125: behandeling van prostaatkanker (“jodium zaadjes”), bepaling van het bloedvolume.
- jodium-131: behandeling van schildklier-aandoeningen, waaronder schildklierkanker, diagnose en/of behandeling van een aantal soorten kanker.
- xenon-133: gebruikt voor het maken van longscans (diagnose).
- samarium-153: behandeling van de uitzaaiingen in het bot (botmetastasen) van verschillende soorten kanker. De behandeling is palliatief: niet gericht op genezing, maar op pijnbestrijding.
- terbium-161: dit isotoop is nog in het experimentele stadium, nog niet geaccepteerd als farmaceutisch ingrediënt.
- holmium-166: therapie (radioembolisatie) bij levertumoren
- erbium-169: therapie bij bepaalde vormen van reumatoïde artritis in kleine gewrichten, in vooral in de handen.
- lutetium-177: behandeling van neuro-endocriene tumoren; pijnbestrijding bij botkanker.
- renium-186: pijnbestrijding bij botkanker; behandeling van bepaalde vormen van reumatoïde artritis (vooral in schouder en elleboog).
- renium-188: behandeling van bepaalde vormen van reumatoïde artritis, door het weghalen van het slijmvlies dat de gewrichtsholten en scheden rondom de pezen

bekleedt. Behandeling van de uitzaaiingen in het bot (botmetastasen) van verschillende soorten kanker. De behandeling is palliatief: niet gericht op genezing, maar op pijnbestrijding. Er loopt onderzoek naar gebruik als therapie bij botmetastasen.

- iridium-192: therapie bij baarmoeder-, baarmoederhals-, prostaat- en slokdarmkanker
- platina-195m: dit isotoop is nog in het experimentele stadium, nog niet geaccepteerd als farmaceutisch ingrediënt.
- thallium-201: diagnose van hartziekten. Helpt bij bepaling van goed/kwaadaardigheid bij borstkanker. Helpt het onderscheid maken tussen lymfoom en toxoplasmose.
- astat-211: dit isotoop is nog in het experimentele stadium, nog niet geaccepteerd als farmaceutisch ingrediënt.
- lood-212: dit isotoop is nog in het experimentele stadium, nog niet geaccepteerd als farmaceutisch ingrediënt.
- radium-223: behandeling van uitzaaiingen in het bot (botmetastaten) van prostaatkanker.
- actinium-225: dit isotoop is nog in het experimentele stadium, nog niet geaccepteerd als farmaceutisch ingrediënt. Onderzoek wordt bemoeilijkt door de zeer beperkte beschikbaarheid.