

Analyse, inform and activate

LAKA

Analyseren, informeren, en activeren

Stichting Laka: Documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie

De Laka-bibliotheek

Dit is een pdf van één van de publicaties in de bibliotheek van Stichting Laka, het in Amsterdam gevestigde documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie.

Laka heeft een bibliotheek met ongeveer 8000 boeken (waarvan een gedeelte dus ook als pdf), duizenden kranten- en tijdschriften-artikelen, honderden tijdschriftentitels, posters, video's en ander beeldmateriaal. Laka digitaliseert (oude) tijdschriften en boeken uit de internationale antikernenergie-beweging.

De [catalogus](#) van de Laka-bibliotheek staat op onze site. De collectie bevat een grote verzameling gedigitaliseerde [tijdschriften](#) uit de Nederlandse antikernenergie-beweging en een verzameling [video's](#).

Laka speelt met oa. haar informatie-voorziening een belangrijke rol in de Nederlandse anti-kernenergiebeweging.

The Laka-library

This is a PDF from one of the publications from the library of the Laka Foundation; the Amsterdam-based documentation and research centre on nuclear energy.

The Laka library consists of about 8,000 books (of which a part is available as PDF), thousands of newspaper clippings, hundreds of magazines, posters, video's and other material. Laka digitizes books and magazines from the international movement against nuclear power.

The [catalogue](#) of the Laka-library can be found at our website. The collection also contains a large number of digitized [magazines](#) from the Dutch anti-nuclear power movement and a [video-section](#).

Laka plays with, amongst others things, its information services, an important role in the Dutch anti-nuclear movement.

Appreciate our work? Feel free to make a small [donation](#). Thank you.



www.laka.org | info@laka.org | Ketelhuisplein 43, 1054 RD Amsterdam | 020-6168294



Pallasreactor

Tussen krimpende vraag en groeiende capaciteit

Henk van der Keur
Stichting Laka

Februari 2017

Pallasreactor

Tussen krimpende vraag en groeiende capaciteit

Henk van der Keur
Stichting Laka

Februari 2017

Stichting Laka
Ketelhuisplein 43
1054 RD Amsterdam
Tel: 020 – 616 8294
www.laka.org
info@laka.org

Stichting Laka is het documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie. Laka documenteert, analyseert en becommentarieert al ruim vijfendertig jaar (de ontwikkeling van) kernenergie.



Deze publicatie is gepubliceerd onder de Creative Commons Licentie. Iedereen mag dit rapport downloaden en verspreiden. Alle rechten blijven bij Stichting Laka. Het is niet toegestaan (delen uit) dit rapport voor commerciële doeleinden te gebruiken.

Laka vraagt geen geld voor het downloaden en gebruik van deze publicatie. Om dit soort publicaties te kunnen blijven schrijven is Laka afhankelijk van giften. U kunt een gift overmaken op NL54 TRIO 0390 9021 79 tnv. Stichting Laka te Amsterdam. Zie ook www.laka.org/donateur.html

Bij de voorpagina:
ECN/NRG-terrein in Petten
met op de locatie waar de Pallasreactor gepland is een 'bodemloze put'.

Inhoud

Inleiding

1. Pallas in een krimpende markt van reactorisotopen

- 1.1 Is de vraag naar molybdeen (technetium) sinds 2009 ook verdubbeld?
- 1.2 Waarom neemt de vraag naar molybdeen (technetium) af?
- 1.3 Meest gevraagde isotopen: verschuiving naar versnellerisotopen
- 1.4 Huidige prognoses OESO/NEA

2. Wereldwijde productiecapaciteit technetium (2016-2021)

- 2.1 Productiecapaciteit HFR hoger, toch lijdt NRG verlies
- 2.2 Reactorcapaciteit tot 2018
- 2.3 Cyclotrons en linacs
- 2.4 Na 2018: productiemethoden isotopen worden diverser
- 2.5 Nieuwe productiecapaciteit in de VS
- 2.6 Oude en nieuwe capaciteit
- 2.7 Isotopenmarkt verandert structureel
- 2.8 Past Pallas nog in de markt van de jaren twintig?

Bronnen

Tabellen:

Tabel 1: Vergelijking productiecapaciteiten BR2, HFR, Maria en NRU

Tabel 2: Voornaamste ⁹⁹Mo productiereactoren (2016-2021)

Tabel 3: Nieuwe bestralingsfaciliteiten voor productie ⁹⁹Mo in periode 2016-2021

Inleiding

Belangrijke voorwaarden voor de bouw van de nieuwe onderzoeksreactor in Petten (Pallas) door de Nuclear Research and consultancy Group (NRG) zijn dat de wereldwijde vraag naar de meest gevraagde medische isotoop flink blijft stijgen en dat de groei van de wereldwijde productiecapaciteit van deze radio-isotoop op zijn best trend blijft houden met deze stijging. De huidige situatie en huidige verwachtingen voor deze beide voorwaarden worden in dit rapport onder de loep genomen.

Al decennialang is technetium-99m (Tc-99m) de kurk waar de branche van medische isotopen op drijft. In veruit de meeste behandelingen in de radiodiagnostiek wordt deze isotoop gebruikt. Het lijkt erop dat er aan deze ontwikkeling een einde gaat komen. Tot 2012 was de prognose van het Nuclear Energy Agency (NEA) van de Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling (OESO) dat de vraag naar technetium flink zou blijven stijgen, maar in de zomer van 2012 moest NEA vaststellen dat de vraag in 2011 fors was gedaald. In maart 2016 maakte het bureau bekend dat de vraag sindsdien gelijk was gebleven. Het zijn dus andere medische isotopen die maken dat de totale jaarlijkse vraag blijft toenemen. OESO (NEA) spreekt de verwachting uit dat de vraag naar technetium in de komende jaren weer zal gaan stijgen, maar veel minder dan in de periode voor 2012 werd gedacht.

Minister van Economische Zaken Henk Kamp en NRG houden vol dat de Pallas-reactor noodzakelijk is om de productiecapaciteit van de huidige Hoge Flux Reactor (HFR) in Petten te vervangen. Maar de OESO/NEA meldt al enige jaren dat er vanaf 2018 overcapaciteit zal ontstaan in de wereldwijde productie van technetium. Nieuwe gegevens van dit bureau geven daarover meer bijzonderheden.

Stichting Laka zoekt naar antwoorden op prangende vragen over nut en noodzaak van de Pallas-reactor. Dat gaat dus vooral over de hierboven genoemde twee variabelen: de wereldwijde vraag naar technetium en de wereldwijde productiecapaciteit van technetium (beide tot 2021). Daarop wil dit rapport antwoorden geven.

1. Pallas in een krimpende markt van reactorisotopen

De levensvatbaarheid van Pallas is mede gebaseerd op de verwachting dat de wereldwijde vraag naar de meest gevraagde medische isotoop technetium-99m (Tc-99m) flink zal blijven stijgen. Volgens de kernindustrie wordt technetium in circa 80 procent van alle behandelingen in de nucleaire geneeskunde gebruikt.

Technetium wordt gebruikt bij SPECT-scans. SPECT is een beeldvormende techniek in de medische diagnostiek. De isotopen voor de SPECT-scan komen van oudsher vooral uit de kernreactor. Technetium wordt vanuit de reactor verspreid via zogenaamde generatoren met molybdeen-99 (Mo-99). Van daaruit kunnen behandelaars de dochterisotoop technetium-99m tappen. Naast SPECT bestaat er nog een beeldvormende techniek die gebruik maakt van medische isotopen, PET genaamd. De isotopen voor deze techniek worden gemaakt met versnellers. SPECT domineert in de westerse wereld, PET in de opkomende markten. Sinds PET in de jaren negentig werd gekoppeld aan de CT-scan maakt deze techniek een snelle groei door ten koste van SPECT. Kernreactoren kunnen alleen SPECT-isotopen produceren. Versnellers – cyclotrons en linacs - hebben het voordeel dat ze beide markten kunnen bedienen. Cyclotrons kunnen zowel PET-isotopen als SPECT-isotopen produceren, en linacs alle denkbare SPECT-isotopen.

Internationale organisaties als het Internationaal Atoomenergie Agentschap (IAEA) en OESO voorspelden aan het einde van het vorige decennium een sterke groei in de productie van molybdeen. Ook een voor de Nederlandse besluitvorming belangrijk rapport van de TU Delft (uit april 2009) stelt dat de vraag naar molybdeen met 8-12% per jaar zal stijgen.¹ Met een groei van gemiddeld 10 procent zou de vraag naar molybdeen in acht jaar maar liefst verdubbelen. Maar de werkelijkheid leert anders:

1. Is de vraag naar molybdeen (technetium) sinds 2009 ook verdubbeld?

Nee, de vraag naar molybdeen is sinds 2009 niet verdubbeld, zelfs niet gegroeid, maar gedaald! Na de crisis van 2009-2010 in de aanvoer van molybdeen, is de vraag naar molybdeen met bijna 20% gedaald² en sindsdien op dat - lagere - niveau gebleven.³ Als we de vraag in 2009 op 100 zetten, zakte die vraag dus naar 80 en is dat nu ongeveer nog steeds. Dat wil zeggen dat de wereldwijde vraag naar technetium eind 2016 minder dan de helft is van wat in 2009 werd verwacht en waar de noodzaak van Pallas op is gebaseerd.

2. Waarom neemt de vraag naar molybdeen (technetium) af?

De OESO heeft geen plausibele verklaring kunnen vinden voor de forse daling in de vraag naar technetium in 2009-2010. Dat de vraag naar technetium na de ernstige tekorten, niet zoals

¹ Bode, Peter; en Delorme, Tim; Productiewijzen voor radionucliden voor medische toepassingen met een onderzoeks-kernreactor en alternatieve technologieën. Reactor Instituut Delft, Faculteit Technische Natuurwetenschappen, Technische Universiteit Delft, 20 april 2009: 23

² “Since 2011, it has become clear that the current demand for 99Mo is no longer 12 000 6-day curies per week. This reduction in demand stems from a number of changes that occurred as a result of the 2009-2010 supply shortages, including: better use of available 99Mo/99mTc, more efficient elution of 99Mo generators, substitute diagnostic tests/isotopes, etc. Based on current market practices, market participants have put the current demand at between 9 500 and 10 000 6-day curies per week.” In: A Supply and Demand Update of the Molybdenum-99 Market. [OECD/NEA, August 2012](#): 1

³ The Supply of Medical Radioisotopes - 2016 Medical Isotope Supply Review: 99Mo/99mTc Market Demand and Production Capacity Projection 2016-2021. [OECD/NEA, March 2016](#): 7

verwacht, flink aantrok, is volgens OESO vermoedelijk een optelsom van meerdere oorzaken, waaronder efficiënter gebruik van de grondstof door stijgende prijzen. Het IAEA signaleert al in 2012 “dat in 2011 producenten de capaciteit van hun versnellers hebben verhoogd om aan de huidige vraag naar radionucliden voor SPECT, PET en therapie te kunnen voldoen”.⁴

Stichting Laka ziet twee (elkaar versterkende) ontwikkelingen binnen de nucleaire geneeskunde die de gesignaleerde structurele krimp in de vraag naar technetium veroorzaakt:

1- Verschuiving van SPECT naar PET

2- SPECT-reactor isotopen worden vervangen door SPECT-isotopen uit een versneller.

Ad 1: Vijftien tot twintig jaar geleden veroverde PET de oncologie ten koste van SPECT. Nu vindt een soortgelijke omwenteling plaats in de cardiologie. Deze trend is één van de belangrijkste verklaringen voor de wereldwijde krimp in de vraag naar technetium. Zo heeft bijvoorbeeld de afdeling cardiologie van het Jeroen Bosch Ziekenhuis de SPECT-scan voor cardiologie vervangen door een PET-scan waardoor de vraag naar technetium in dit ziekenhuis met de helft daalde.

Ad 2: Door de onbetrouwbare aanvoer van SPECT-isotopen vanuit de reactor kiezen behandelaars steeds vaker voor SPECT-versnellerisotopen zoals bijvoorbeeld thallium-201 en jodium-123. Deze vormen een goed alternatief voor de reactorisotopen.

Duidelijk is dat de afnemende vraag naar technetium vooral samenhangt met de opkomst van isotopenproductie met versnellers, zowel voor PET als voor SPECT. Maar innovatie houdt natuurlijk niet op bij versnellers (cyclotrons en linacs). Naar verluidt geïnspireerd op het werk van creatieve geesten in de versnellersbranche, heeft een team van deskundigen van het Nederlandse bedrijf ASML een lasertechnologie ontwikkeld voor isotopenproductie. Dit zogenaamde Lighthouse-project kreeg van het kabinet een innovatieprijs.⁵ Wat dat betekent voor het Pallas-project moet nog blijken. Opvallend hierbij is dat de innovaties in de versnellertechnologie die nu worden gerealiseerd in de nucleaire geneeskunde, in de beleidstukken buiten beeld blijven als optie voor toekomstige isotopenproductie in Nederland. De introductie van deze technologie vindt vooral plaats in de Verenigde Staten, Canada en het Verenigd Koninkrijk.

3. Meest gevraagde isotopen: verschuiving naar versnellerisotopen

Als we naar de ranglijst kijken van de tien meest gevraagde isotopen, zijn dat op de belangrijkste na (technetium) vrijwel allemaal cyclotronisotopen. Thallium-201 (Tl-201), gallium-67 (Ga-67) en jodium-123 (I-123) zijn na technetium de drie meest gevraagde isotopen in de nucleaire geneeskunde voor de SPECT-scan.⁶ Alle drie worden uitsluitend geleverd door cyclotrons. Tweede isotoop thallium-201 is een prima vervanger van technetium en de vierde, jodium-123, wordt gebruikt in plaats van de reactorisotoop jodium-131 (I-131). Andere belangrijke isotopen in deze top tien zijn de twee meest gevraagde PET-isotopen fluor-18 (F-18) en rubidium-82 (Rb-82). F-18 wordt toegepast in de oncologie en Rb-82 in de cardiologie. Beide worden geleverd door cyclotrons.

⁴ “One trend that could be observed in 2011 was that a number of manufacturers upgraded their cyclotron systems to increase the beam current and energies in order to meet the current demand for radionuclides used in clinical applications of single photon emission computed tomography (SPECT) PET, and therapy.” In: [Nuclear Technology Review 2012](#). General Conference, Fifty-sixth regular session, Item 16 of the provisional agenda, GC(56)/INF/3. 1 August 2012: 51

⁵ Kabinet benoemt Blue Energy, Growboxx en Lighthouse tot Nationale Icoon, [Rijksoverheid nieuws](#) 18-10-2016

⁶ Concise Analysis of the International Nuclear Medicine Market & Radiopharmaceuticals - Trends & Forecast to 2017. [Februarij 12, 2014](#)

Samenvattend: de verwachte groei van de vraag naar de belangrijkste isotoop die de nieuwe reactor Pallas moet gaan produceren heeft niet plaatsgevonden. Integendeel: de vraag is nu ongeveer gelijk aan 8 jaar geleden. De belangrijkste oorzaken daarvoor zijn de verschuivingen van SPECT naar PET, en van SPECT-reactorisotopen naar SPECT-versnellerisotopen.

Terwijl de vraag naar radioactieve stoffen in medische behandelingen jaarlijks toeneemt, blijft de vraag naar technetium naar verhouding afnemen. De keuze van beeldtechniek op de twee belangrijkste afdelingen in ziekenhuizen, oncologie en cardiologie, is de PET-scan. Maar ook in groeiende andere medische disciplines, zoals onderzoek naar Alzheimer, is PET de norm. SPECT zal zeker niet verdwijnen, maar alles wijst erop dat PET de dominante techniek wordt.

Huidige prognose OESO/NEA

In een recente presentatie geeft OESO/NEA aan wat de verwachtingen zijn voor de komende jaren. Het kernenergiebureau gaat er van uit dat de vraag naar technetium weer zal gaan stijgen, maar veel minder dan in de prognoses van voor 2012.⁷ In ieder geval tot 2021 lijkt er een fors overschot te ontstaan op basis van die verwachte lichte groei. Volgens ingewijden heeft deze NEA-analyse een te korte horizon voor het plannen van toekomstige grootschalige productiecapaciteit, zowel voor een reactor als een versneller gedreven systeem is de doorlooptijd van een project inclusief opstartfase om verschillende redenen duidelijk langer dan de vijf jaar waar NEA nu naar kijkt.

⁷ Charlton, Kevin; Medical Isotope Supply - 99Mo/99mTc Market Demand and Production Capacity Projection: 2016-2021. Mo-99 Topical Meeting St. Louis, [OECD/NEA, 11-14 September 2016](#)

2. Wereldwijde productiecapaciteit technetium (2016-2021)

Nu en straks wordt de productiecapaciteit van technetium (molybdeen) vooral bepaald door kernreactoren. Maar in het volgende decennium zullen versnellers en wellicht ook lasers het beeld gaan domineren, omdat ze effectiever en daardoor goedkoper kunnen produceren dan reactoren. Het Amerikaanse bedrijf Mallinckrodt is de huidige verwerker van medische isotopen in Petten. Mallinckrodt is vooral actief in productie van radiofarmaca van reactorisotopen. In deze krimpende markt lijkt Mallinckrodt de handdoek in de ring te gooien, door zich te concentreren op sterk groeiende gespecialiseerde geneesmiddelen. Als alle mededingingsinstanties in de eerste helft van 2017 akkoord gaan met de overname van Mallinckrodt door IBA Molecular kan dat worden beschouwd als een voorbode van het nieuwe tijdperk in de branche van medische isotopen. IBA Molecular is veel minder afhankelijk van reactorisotopen. IBA Frankrijk is een belangrijke producent van Mo-99/Tc-99m-generatoren, maar het multinationale bedrijf als geheel drijft voor een belangrijk deel op de booming business van radiofarmaca van populaire medische isotopen die alleen met cyclotrons gemaakt kunnen worden.

Productiecapaciteit HFR hoger, toch lijdt NRG verlies

Ofschoon de grootste producent van technetium, de Canadese kernreactor NRU, pas op 31 maart 2018 officieel zal sluiten, is de reactor volgens OESO/NEA al 31 oktober 2016 gestopt met het routinematig bestralen van splijtstof voor de productie van medische radio-isotopen. Tot de sluiting blijft de reactor in een 'hot standby'.⁸

Uit de cijfers van OESO/NEA van 2014⁹ en 2016¹⁰ blijkt dat de productiecapaciteit van de Hoge Flux Reactor (HFR) stapsgewijs is verhoogd. De bestralingen in de NRU namen steeds verder af. Ondertussen zijn de bestralingen in de HFR (en ook in de Belgische BR-2 en de Poolse Maria-reactor) juist steeds verder toegenomen. De cijfers staan weergegeven in tabel 1.

Tabel 1 Vergelijking productiecapaciteiten BR2, HFR, Maria en NRU				
reactor	2014		2021	
	verwachte beschikbare capaciteit per week [6-dag Ci 99Mo]	Potentiële jaarlijkse productie [6-dag Ci 99Mo]	verwachte beschikbare capaciteit per week [6-dag Ci 99Mo]	verwachte beschikbare capaciteit per jaar tegen 2021 [6-dag Ci 99Mo]
BR2 ¹	7800	156000	7800	210600
HFR	4680	187200	6200	241800
Maria	2200	66000	2700	95000
NRU	4680	187200	4680	0

¹ Vanwege onderhoud was de BR2 gesloten van februari 2015 t/m oktober 2016.

Volgens NEA is de wekelijkse productiecapaciteit van molybdeen in de HFR in de afgelopen twee jaar verhoogd van 4680 naar 5400 6-dag curie, en in 2017 wordt die verder verhoogd naar 6200

⁸ The Supply of Medical Radioisotopes - 2016 Medical Isotope Supply Review: 99Mo/99mTc Market Demand and Production Capacity Projection 2016-2021. [OECD/NEA, March 2016: 23](#)

⁹ The Supply of Medical Radioisotopes - Medical Isotope Supply in the Future: Production Capacity and Demand Forecast for the 99Mo/99mTc Market, 2015-2020, [OECD/NEA, 2014: 22](#)

¹⁰ The Supply of Medical Radioisotopes - 2016 Medical Isotope Supply Review: 99Mo/99mTc Market Demand and Production Capacity Projection 2016-2021. [OECD/NEA, March 2016: 5](#)

6-dag curie (dit betekent het aantal curie, zes dagen na het einde van het productieproces). De HFR zal dus vanaf 2017 uitgroeien tot 's werelds grootste producent van medische isotopen. Desondanks, zo blijkt uit de cijfers van OESO/NEA in hoofdstuk 1, blijft de vraag naar technetium dalen. Dat wordt bevestigd in een Kamerbrief van minister Kamp (EZ), waarin staat dat bij NRG, de exploitant van de HFR, het verkoopvolume van medische isotopen is gedaald en dat ze verlies lijden op de verkoop van molybdeen.¹¹

Minister Kamp en NRG blijven benadrukken dat met de sluiting van de belangrijkste productiereactoren in het vooruitzicht, de Pallas-reactor, die in 2024 in Petten in bedrijf moet komen, noodzakelijk is om aan de vraag naar medische isotopen te kunnen blijven voldoen. Maar in deze vooruitblik op de veranderingen die gaan komen in de markt voor medische isotopen, wil Stichting Laka laten zien dat in de isotopenbranche niets is wat het lijkt.

Reactorcapaciteit tot 2018

De wereldwijde productiecapaciteit neemt tot 2018 enigszins toe. Het Russische bedrijf JSC Isotope is op de locatie van RIAR (drie productiereactoren in Dimitrovgrad) bezig met de installatie van een tweede productielijn voor radiofarmaca (zgn. hot cells) om zo de productie te verdubbelen. Rusland kan voorzien in eigen behoefte en exporteerde in 2012 ongeveer tweederde van zijn productie. Het streeft naar een aandeel van 20% van de wereldmarkt. Ook Australië (OPAL) en Duitsland (FRM-II) staan op het punt om de laatste hand te leggen aan een verhoogde productiecapaciteit, respectievelijk in 2017 en 2018. Maar het blijven allemaal

Tabel 2 Voornaamste ⁹⁹Mo productiereactoren (2016-2021)				
land	reactor	verwachte beschikbare capaciteit per week [6-dag Ci ⁹⁹ Mo]	verwachte beschikbare capaciteit per jaar tegen 2021 [6-dag Ci ⁹⁹ Mo]	geschatte sluiting
Argentinië	RA-3	400	18.400	2027
Australië	OPAL	1750	75.250 ¹	2055
België	BR-2	7800	210.600	2026
Canada	NRU	4680	187.200 (t/m okt. 2016)	2018
Duitsland	FRM-II ³	2100	67.200 ²	2054
Nederland	HFR	6200 ⁴	241.800	2024
Polen	Maria	2700	95.000	2030
Rusland ⁵	RIAR	1000	50.000	2025
	Karpov Instituut	350	16.800	2025
Tsjechië	LVR-15	2400	72.000	2028
Zuid-Afrika	Safari-1	3000	130.700	2030

Bron: [OESO, maart 2016](#)

1 verwachte eerste volle jaar van ⁹⁹Mo productie: 2017

2 verwachte eerste volle jaar van ⁹⁹Mo productie: 2018

3 De exploitant van de reactor, de Technische Universiteit van München (TUM) werkt samen met de Belgische verwerker IRE: U-Target Irradiation at FRM II Aiming the Production of M0-99 – [A Feasibility Study](#)

4 Capaciteit HFR wordt in 2017 verhoogd van 5400 naar 6200.

5 De reactoren produceren tenminste tot 2025. Research Institute of Atomic Reactors (RIAR) heeft drie productiereactoren (RBT-6, RBT-10/2, en SM).

bescheiden bijdragen. De werkelijke veranderingen gaan – als alles volgens plan verloopt – vanaf 2018 komen. Die veranderingen zijn het gevolg van uiteenlopende factoren. Kernthema's daarin zijn de vastgelopen isotopenproductie met reactoren als gevolg van mondiaal wanbeleid, de

¹¹ ECN samen met TNO: toekomst NRG blijft onduidelijk, [Laka, 3 oktober 2016](#)

snelle opkomst van PET-technologie, en het sterk innovatieve en veelzijdige karakter van de versnellertechnologie in de isotopenbranche.

Cyclotrons en linacs

Een belangrijke verandering in de isotopenmarkt vanaf 2017 is de productie van molybdeen en technetium met versnellers. Evenals producenten met kernreactoren, leveren producenten met linacs molybdeen aan ziekenhuizen. Via een generator wordt technetium verkregen. Cyclotrons maken gebruik van directe productie van technetium. Versnellerproducenten van molybdeen en technetium zijn al jaren druk bezig met voorbereidingen. Feitelijk zit het technisch allemaal rond, maar is het wachten op de laatste vergunningen. De verwachting is dat de productie in 2017-2018 op gang gaat komen. Canada en de VS lopen voorop in deze ontwikkeling.

Na 2018: productiemethoden isotopen worden diverser

Volgens de OESO (NEA) is de productie van reactorisotopen spaak gelopen door decennialange overheidssubsidies.¹² Dat leidde tussen 2005 en 2012 (maar ook in perioden daarvoor) geregeld tot ernstige tekorten in de aanvoer van medische isotopen. Afbouw van deze subsidies moet de productie met reactoren weer rendabel gaan maken. Dat heeft tot gevolg dat producenten, waaronder NRG, hun prijzen voor isotopen flink gaan verhogen. Hogere prijzen voor reactorisotopen maakt het voor producenten van versnellerisotopen aantrekkelijk om ook deze SPECT-isotopen, waaronder molybdeen en technetium, te gaan produceren met cyclotrons en linacs. Er zijn modellen cyclotrons op de markt gebracht die zowel populaire PET- als SPECT-isotopen kunnen produceren. Voor de productie van SPECT-isotopen, waaronder de zwaardere radio-isotopen die gebruikt worden in therapieën, gaat de aandacht vooral uit naar de linac. Als die techniek vol in productie komt, naar verwachting tegen 2020, kan ze goedkoper produceren dan kernreactoren en cyclotrons. Doordat de huidige en komende aanwas van capaciteit vooral bestaat uit reactorcapaciteit (zie tabel 3), zullen reactorisotopen de markt voorlopig blijven domineren. Maar tegen het einde van dit decennium zal door gebruik van versnellers en door ontwikkeling van andere technologie, waaronder lasertechnologie, de verscheidenheid in productiemethoden steeds verder toenemen.

Nieuwe productiecapaciteit in de VS

Voorals in de VS komt er vanaf 2018 veel nieuwe productiecapaciteit bij. Ofschoon de VS door gemis aan binnenlandse productie thans volledig zijn aangewezen op import – tot eind 2016 vooral uit Canada (NRU) en straks vooral uit Nederland (HFR) en België (BR-2) - werkt het land al sinds 2009 aan een programma om vanaf 2018 met eigen productie in de binnenlandse behoefte te voorzien. Daarbij is fors geïnvesteerd in reactortechnologie, versnellertechnologie en aanverwante technieken. De OESO maakt melding van vijf projecten die in de periode 2017-2020 een productiecapaciteit moeten genereren ter grootte van drie tot vier NRU's. (tabel 3) Drie van de vijf projecten zijn van de University of Missouri Research Reactor Center (MURR) die met drie verschillende nieuwe methoden molybdeen wil gaan produceren met behulp van laag verrijkt uranium (LEU). Daarvoor is het partnerschappen aangegaan met de Amerikaanse bedrijven NorthStar en General Atomics, en het Canadese bedrijf Nordion voor de productie van radiofarmaca. Het vierde project is de commerciële toepassing van lineaire versnellers (linacs) voor de productie van molybdeen door NorthStar. Het vijfde project is van het bedrijf SHINE. Dat is een acroniem voor Subcritical Hybrid Intense Neutron Emitter. Het maakt ook gebruik van versnellertechnologie en werkt met deuteriumbundels om helium en vrije neutronen op te wekken om vervolgens daarmee, net als met neutronen in een kernreactor, LEU te beschieten

¹² The Supply of Medical Radioisotopes - An Economic Study of the Molybdenum-99 Supply Chain. [OECD/NEA, 2010](#)

voor de productie van molybdeen. Het voordeel is dat met deze methode minder radioactief afval ontstaat dan in een reactor, en dat dit type reactor niet kritisch is waardoor er geen kans bestaat op een uit de hand lopende kettingreactie die tot een kernramp kan leiden. Toch is deze techniek veel minder schoon dan het gebruik van de cyclotron en de linac.

Al deze projecten zijn mede gefinancierd via een programma van het Amerikaanse ministerie van Energie (DoE) dat is bedoeld om de isotopenproductie veiliger te maken voor misbruik van splijtstof.¹³ De drive van het Amerikaanse Congres is dat alle import van molybdeen vanuit gesubsidieerde en verouderde onderzoeksreactoren met targets van hoog verrijkt uranium (HEU) in het buitenland (NRU, HFR, BR-2, ..) moet stoppen, maar dat medische isotopen beschikbaar moeten blijven voor patiënten en dat ze geproduceerd moeten worden in overeenstemming met het Amerikaanse nucleaire non-proliferatiebeleid. Nederland kreeg in de aanloop naar de Nuclear Security Summit in Den Haag (maart 2014) nog een uitbrander van de VS omdat de HEU/LEU-conversie in de HFR nog steeds niet was afgerond.¹⁴ De trage medewerking van Nederland roept herinneringen op aan dezelfde conversie van de kernbrandstof van de HFR. Al in 1984 riep de VS Nederland op om hun kernbrandstof in de kernreactor om te zetten van HEU naar LEU. Ook toen duurde het heel lang voordat Nederland daar gehoor aan gaf.

In 1992 stopten de VS met de levering van HEU.¹⁵ De reactor raakte daardoor in 1994 in de problemen.¹⁶ Toch was dat nog geen reden om de omschakeling naar laag verrijkt uranium door te zetten. In 1996 werd overwogen hoog verrijkt uranium uit Rusland te importeren.¹⁷ Pas in het najaar van 1999 werd duidelijk dat de HFR ging overschakelen naar brandstof met laag verrijkt uranium.¹⁸ Een proces dat nog tot 2006 zou duren.¹⁹

Naast de projecten die vermeld worden door de OESO, sponsort het Amerikaanse ministerie, zo valt op hun website te vernemen²⁰, ook nog een reeks andere projecten die een serieuze kans maken om de wereldwijde productiecapaciteit tegen het einde van dit decennium verder te verhogen. Coquí RadioPharmaceuticals Corp, Eden Radioisotopes, Flibe Energy, Niowave, Northwest Medical Isotopes, NuView en PermaFix worden vermeld als organisaties die ook werken aan de mogelijkheid om een niet op HEU-gebaseerde productie van Mo-99 te ontwikkelen. Volgens de directeur van het bedrijf Coquí RadioPharmaceuticals Corp zijn zij klaar om het verlies aan capaciteit van de NRU-reactor in de komende jaren te compenseren.²¹

Oude en nieuwe capaciteit

In de periode 2018-2021 komt er een veelvoud aan nieuwe productiecapaciteit bij. Net als met alle lopende projecten zal dat waarschijnlijk gepaard gaan met enige jaren vertraging. Zoals hierboven uiteengezet komt er vooral in de Verenigde Staten nieuwe capaciteit bij. Maar daarnaast komen er nog eens een paar NRU's aan capaciteit bij, verdeeld over verschillende landen. (zie Tabel 3) Ondertussen blijven volgens planning de huidige voornaamste productiereactoren, de HFR in Petten en de BR-2 in Mol (B), tot respectievelijk in 2024 en 2026 in

¹³ NNSA Works to Establish a Reliable Supply of Mo-99 Produced Without Highly Enriched Uranium, [Oct. 29, 2014](#)

¹⁴ VS-kritiek op Nederland voor top, [12 maart 2014](#)

¹⁵ VS stoppen levering HEU aan HFR, [6 oktober 1992](#)

¹⁶ HFR in problemen door weigering LEU, [30 januari 1994](#)

¹⁷ Geen bezwaar tegen Russisch HEU, [1 februari 1996](#)

¹⁸ HFR schakelt om: afval kan naar de VS, [24 september 1999](#)

¹⁹ HFR nu helemaal op LEU, of toch niet...?, [7 mei 2006](#)

²⁰ NNSA Works to Establish a Reliable Supply of Mo-99 Produced Without Highly Enriched Uranium, [Oct. 29, 2014](#)

²¹ US firms target revival in domestic Mo-99 production, [May 1, 2015](#)

bedrijf. De OESO kondigde de komst van deze verzadiging van de markt al enige tijd geleden aan. De sluitingen van de HFR en de BR-2 zullen nauwelijks een rimpeling veroorzaken in de oververzadigde markt van de jaren twintig. De vervangende capaciteit voor deze reactoren, die in diezelfde periode in bedrijf moet komen, in België (MYRRHA), Nederland (Pallas) en Frankrijk (Jules Horowitz Reactor) zal de overcapaciteit alleen maar verder vergroten. MYRRHA is een door een versneller aangedreven reactor (sub-kritisch). De eerste contracten voor de bouw moeten in 2017 worden afgesloten. Het project was ooit vooral bedacht voor de productie van specifieke isotopen, die met een gewone kernreactor lastiger te maken zijn. Maar met de komst van linactechnologie op de markt lijkt MYRRHA een achterhaald project. Linacs kunnen naar verwachting tegen de tijd dat MYRRHA in bedrijf moet komen – in 2024 - dezelfde isotopen veel goedkoper produceren. Bij de Jules Horowitz reactor ligt de nadruk op kernonderzoek. Maar Pallas moet winstgevend worden uit de productie van isotopen. Kan dat wel in 2025?

Tabel 3 Nieuwe bestralingsfaciliteiten voor productie ⁹⁹Mo in periode 2016-2021

land	bestralings-bron	verwachte eerste volle productiejaar	verwachte beschikbare capaciteit per week [6-dag Ci 99Mo]	verwachte beschikbare productie per jaar [6-dag Ci 99Mo]	project status (dec. 2015)
Argentinië	RA-10	2020	3000	120.000	bouw start in 2016 ¹
Brazilië	RMB	2021+	1000	41.400	financiering gezocht ²
China	Advanced RR	2021+	1000	34.000	bestaande reactor wordt aangepast
Frankrijk	Jules Horowitz	2021	4800	153.600	in aanbouw ³
VS	MURR/ NorthStar	2017	750	39.000	reactor capaciteit en bestralingsinstallaties gereed
	MURR/ NorthStar	2018	2250	117.000	transitie naar verrijkt Mo begint in 2016
	NorthStar (linacs)	2018	3000	156.000	definitieve ontwerp in 2016
	MURR/GA	2019	4200	218.400	voorlopig ontwerp gereed
	SHINE	2020	4000	200.000	bouw moet nog beginnen
Zuid-Korea	Korea	2020	400	17.200	bouwvergunning ingediend

Bron: [OESO, maart 2016](#)

[1] Bouwvergunning in november 2014 verkregen; voorlopig ontwerp gereed. Nuclear Power in Argentina ([Updated July 2016](#))

[2] Bedrijf voor gedetailleerd ontwerp had in 2016 gecontracteerd moeten worden. Maar door gebrek aan financiering is de bouw minimaal een jaar vertraagd: RMB - The New Brazilian Multipurpose Research Reactor. Jose Augusto Perrotta. INAC–XIX ENFIR, [October 2015](#)

[3] Mogelijk 2022 (?): Le chantier du réacteur Jules Horowitz, [Liberation, 25 januari 2016](#)

Jules Horowitz Reactor: Improvement of the thermal-hydraulic modeling and propagation of uncertainties. Alberto Ghione, [July 14, 2016](#)

Het is niet alleen de oververzadiging van de SPECT-markt die Pallas parten speelt. Niet minder belangrijk is de snelle terreinwinst van de PET ten koste van SPECT en de trend dat SPECT-isotopen steeds vaker door cyclotrons worden geproduceerd. Het IAEA ziet in de toenemende productie van SPECT-isotopen met cyclotrons een trend. De oorzaak is dat de prijzen van reactorisotopen stijgen door afnemende subsidies op de productie ervan. Om de productie in de aanvoerketen vanuit de reactor rendabel te maken moeten reactorproducenten namelijk volledig kostendekkend gaan werken ('full-cost recovery').

Isotopenmarkt verandert structureel

Het huidige karakter van de markt gaat helemaal veranderen. Centrale aanvoer vanuit een handjevol reactoren gaat plaats maken voor decentrale productie met cyclotrons en linacs. Veel ziekenhuizen beschikken over zowel een SPECT- als een PET-scan. Eén en dezelfde cyclotron kan behandelaars zowel voorzien van SPECT- als PET-isotopen. Daarnaast is in de VS en Canada een

netwerk van linacs in ontwikkeling. Deze versnellers kunnen grote hoeveelheden SPECT-isotopen produceren, goedkoper dan een reactor of een cyclotron.

De gevolgen van deze veranderingen zullen tegen het einde van dit decennium al merkbaar worden voor NRG. Het is geen vraag meer of de VS vanaf 2018 nog langer de tweede afnemer (na Europa) van NRG zal zijn van molybdeen. Het precieze marktaandeel van NRG in de VS is niet bekend. Wel dat verwerker Mallinckrodt in 2015 een marktaandeel had van 75 procent in de VS.²² Het overgrote deel daarvan wordt geleverd door de HFR. Ondanks de mooie verkooppraatjes van NRG, wordt haar concurrentiepositie op de wereldwijde isotopenmarkt in snel tempo steeds verder ondermijnd. Vooral door flinke uitbreiding van reactorcapaciteit elders in de wereld, maar ook door toenemend gebruik van versnellers en andere technieken die veel efficiënter en goedkoper medische isotopen kunnen produceren. En dan is er ook nog de verdere opmars van PET/CT, vooral in de cardiologie. Nu minister Kamp eind september 2016 aan de Kamer meldt dat 'het verkoopvolume van medische isotopen lager is dan verwacht', lijkt het erop dat de grote krimp in de isotopenproductie van kernreactoren al is begonnen. Volgens het RIVM heeft de wereldmarkt voor Mo-99 bij het plots wegvallen van NRG 'slechts' een herstelperiode nodig van ruim een jaar.²³

Past Pallas nog in de markt van de jaren twintig?

IBA heeft als eerste bedrijf in de jaren tachtig cyclotrons op de markt gebracht die zowel klassieke cyclotronisotopen (PET en SPECT) produceren als SPECT-isotopen die nu nog uit een reactor komen. Nu er een tijd aanbreekt dat ook die laatste groep isotopen goedkoper met cyclotrons kan worden geproduceerd, wordt het steeds aantrekkelijker om alle medische isotopen met versnellers te gaan maken met de nieuwste modellen van dit type cyclotron. Ofschoon technetium een veel lagere houdbaarheidsdatum heeft dan molybdeen, zijn ingewijden het erover eens dat drie of vier cyclotrons voor directe productie van technetium voldoende zijn om heel Nederland van technetium te voorzien.

In zijn Kamerbrief van 30 september 2016 schrijft minister Kamp dat het kabinet in beeld zal brengen welke toekomstige nucleaire kennisinfrastructuur uit publiek oogpunt en voor de voorzieningszekerheid van medische isotopen van belang is. Het resultaat van dit onderzoek zal in het voorjaar van 2017 aan de Tweede Kamer worden aangeboden. Vooruitlopend hierop, stelt Stichting Laka op basis van deze toekomstverkenning vast dat er maar één conclusie mogelijk kan zijn: Pallas is een volkomen zinloos project.

²² Brown, Roy W.; The Path to Conversion of Low Enriched Uranium (LEU) for the Production of Mo-99. 2016 Mo-99, [Topical Meeting](#), September 13, 2016, St. Louis, Missouri: 5

²³ Notitie: Ruwe schets van de problemen voor de behandeling van Nederlandse patiënten bij een plotselinge productiestop van medische isotopen in Nederland. [RIVM, juli 2016](#)

Visie van Laka op medische isotopenproductie

Medische isotopen zijn onmisbaar in de moderne gezondheidszorg. Omdat isotopen met deeltjesversnellers milieuvriendelijker, veiliger en goedkoper kunnen worden geproduceerd, roept Laka op hiervoor in Petten geen nieuwe kernreactor te bouwen.

Voor arts en patiënt maakt het niet uit of medische isotopen uit een kernreactor of uit een deeltjesversneller komen. Alleen de kwaliteit en de beschikbaarheid telt. Laka kijkt daarnaast nadrukkelijk naar de milieueffecten van de productie van isotopen.

De productie van isotopen met deeltjesversnellers kent veel voordelen:

Veiligheid:

- Geen/weinig langlevend hoogradioactief kernafval;
- Geen/weinig transport met kortlevende hoogradioactieve isotopen;
- Geen splijtstoffen, dus geen proliferatiegevaar;
- Geen gevaar op een kernramp.

Beschikbaarheid:

- Een groot aantal regionale medische centra met deeltjesversnellers zorgen voor grote leveringszekerheid.

Andere voordelen:

- Brede range van medische isotopen:
 - Met een versneller kunnen meer verschillende isotopen worden geproduceerd dan met een kernreactor; zowel voor nieuwe toepassingen als ter vervanging van toepassingen met reactorisotopen;
 - Versnellerisotopen worden voor dezelfde medische toepassingen gebruikt en bieden dezelfde beeldvormende kwaliteit als reactorisotopen.
- Innovatief:
 - Medische diagnostiek / beeldvormende technologie met versnellerisotopen staat in de beginfase van innovatie. Bij reactorisotopen is de innovatie over het hoogtepunt.
- Goedkoop:
 - Een middelgrote versneller kost €7 miljoen. Met vijftien versnellers kan net zoveel Technetium - het meest gebruikte medische isotoop - worden geproduceerd als met één kernreactor. De kosten van een nieuwe kernreactor zijn ongeveer €600 miljoen.

Overgangsperiode voor isotopen voor therapie

Ongeveer 90% van de medische isotopen wordt gebruikt bij het stellen van diagnoses; de overige 10% wordt gebruikt voor therapeutische bestraling. Sommige bestralingsisotopen kunnen echter pas over enkele jaren met deeltjesversnellers worden geproduceerd.

In tegenstelling tot kortlevende isotopen voor diagnostiek hebben therapeutische isotopen vaak een halfwaardetijd van enkele maanden. Iridium-192, een veelgebruikt isotoop voor Brachytherapie, heeft zo een halfwaardetijd van 73,2 dagen. Dit soort isotopen kunnen daarmee relatief gemakkelijk over grote afstanden worden vervoerd. Wereldwijd volstaan daarom één á twee onderzoeksreactoren voor de productie ervan. Na de huidige overgangsperiode kunnen over enkele jaren alle isotopen met deeltjesversnellers worden gemaakt. Een nieuwe reactor is dus ook voor therapeutische isotopen in Petten niet nodig.