

Juni 2011

[www.kernvisie.com](http://www.kernvisie.com)



*ansnuclearcafe.org*

## Redactioneel commentaar op de ramp van Fukushima: Was de oorzaak van de Fukushima kernramp werkelijk 'Beyond Design'?

**Alhoewel de definitieve conclusies van de kernramp van Fukushima nog wel enige tijd op zich laten wachten, wijzen de voorlopige conclusies er op dat de zes eenheden van de Fukushima Daiichi centrale de aardbeving zelf zonder veel schade hebben doorstaan. De grote ravage is aangericht door de tsunami, die 55 minuten na de beving arriveerde.**

De eenheden van de centrale zijn ontworpen voor een aardbeving met een kracht van 8,2 op de schaal van Richter, terwijl de aardbeving van 11 maart een kracht van 9,0 had. Het epicentrum lag op 160 kilometer van de kust bij Fukushima. Wat bepalend is voor

aardbevingsschade zijn de ter plaatse optredende verticale en horizontale versnellingen in vergelijking met de ontwerpbasis van deze eenheden. Uit metingen is gebleken dat deze versnellingen tot maximaal 26 procent hoger waren dan de ontwerpbasis.

Desondanks heeft de aardbeving zelf weinig of geen schade aangericht, nogmaals voor zover thans bekend is. Het is de hierop volgende tsunami geweest, die met verwoestende kracht heeft toegeslagen. De vraag is of de grootte van deze tsunami redelijkerwijs niet kon worden verwacht. De ontwerpbasis voor een tsunami voor deze eenheden was een vloedgolf van 5,7 meter, terwijl de tsunami van 11 maart ter plekke ongeveer 14 meter bedroeg. Het Duitse VGB heeft alle Japanse tsunami's, voor zover uit de geschiedenis bekend, op een rijtje gezet en hieruit enkele conclusies getrokken (zie figuur 1).

Er blijken in de laatste 513 jaar van de Japanse geschiedenis meer dan zestien grote tsunami's geweest te zijn met een hoogte van tien meter of meer. Dit resulteert in een optredende gemiddelde frequentie over deze periode van één maal in de dertig jaar. Kijken we naar een specifieke locatie dan blijkt de optredende frequentie over deze periode één maal in de honderd tot duizend jaar te zijn. Met een tsunami van deze grootte moet dus wel degelijk rekening worden gehouden en had door de ontwerpbasis afgedekt moeten zijn. (de hierboven gebruikte gegevens zijn gepubliceerd door VGB, [www.vgb.org](http://www.vgb.org)) Aangenomen dat het bovenstaande op juiste gegevens berust, dan roept dat 'moeilijke' vragen

2 Rudy Konings benoemd als hoogleraar aan TU Delft

4 BV Cyclotron VU belangrijke ketenspeler

8 NRG staat voor leveringszekerheid en zuiverheid

3 URENCO: unieke producent stabiele isotopen

6 Proces van medische isotopen voor diagnoses (imaging)

9 COVRA: bijzondere positie binnen de keten

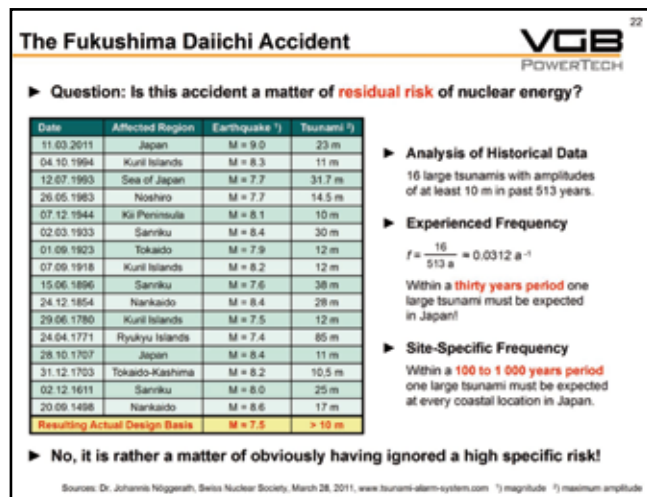
op. Na dit soort ongevallen wordt er internationaal veel overleg gevoerd. Ten eerste om het ongeval te begrijpen en daarna om de maatregelen te

nemen die noodzakelijk zijn om te voorkomen dat een dergelijk ongeval weer kan optreden. In Europa wordt nu ongetwijfeld druk overleg gevoerd over de 'stresstest'.

Dit is in eerste instantie noodzakelijk als symptoombestrijding, maar de dieper gelegen oorzaak wordt hiermee niet aangepakt. De eenheden van de later gebouwde en zestien kilometer zuidelijker gelegen centrale Fukushima Daiichi hebben zowel de aardbeving als de tsunami zonder noemenswaardige

schade doorstaan. Als men later kennelijk tot een beter inzicht is gekomen, waarom zijn de veiligheidseisen van de Daiichi-eenheden dan niet daaraan aangepast? Waarom hebben de vele internationale gremia die hun bestaansrecht ontlenen aan nucleaire veiligheid de Japanse toezichthouder niet aangesproken op deze situatie, zoals: de IAEA met de OSART-teams en werkgroepen op het gebied van externe effecten, WANO en de Convention on Nuclear Safety? Deze en vele andere vragen zullen de komende tijd beantwoord moeten worden. Ongetwijfeld zal de cultuur binnen de nucleaire wereld ernstig onder de loep genomen moeten worden.

*Redactie*



Figuur 1

## Rudy Konings hoogleraar chemie nucleaire splijtstofcyclus TU Delft

**Prof. dr. Rudy Konings is tot hoogleraar benoemd bij het Reactor Instituut Delft (RID), onderdeel van de TU Delft. Konings gaat zich bij het RID als deeltijdhoogleraar (0.2 fte) richten op de verbetering van de chemie van de nucleaire splijtstofcyclus.**

### Nucleaire materialen

Het is duidelijk dat kernenergie momenteel voor een aantal uitdagingen staat. Toch blijft het een optie voor de toekomstige energievoorziening, vooral vanwege de vrijwel afwezige uitstoot van broeikasgassen. Een cruciale factor voor de nucleaire industrie van de toekomst is de keuze van het type kerncentrale en bijbehorende splijtstofcyclus. Konings zal bij het RID onderzoek in gang zetten met een focus op nucleaire materialen voor kernsplijtingsreactoren. Het onderzoek richt zich op het verduurzamen van kernenergie door de ontwikkeling van

betere en efficiëntere splijtstoffen en veilige opslag van kernsplijtingsafval.

### Joint Research Centre

Konings (1961) studeerde af in de geochemie aan de Universiteit Utrecht (1985) en promoveerde vervolgens aan de Universiteit van Amsterdam (1990) op thermochemische eigenschappen van metaalhydroxiden. Konings was daarna werkzaam als onderzoeker en manager bij ECN en NRG. In 1999 kwam hij in dienst bij het Institute for Transuranium Elements in Karlsruhe (onderdeel van het Joint Research Centre van de



*Rudy Konings*

EU). Konings blijft naast zijn deeltijd-aanstelling in Delft, werkzaam als Hoofd van de Materials Research Unit van dit Institute for Transuranium Elements.

### OYSTER

Het RID hoopt op korte termijn de financiën rond te hebben voor

het verbeterprogramma OYSTER (Optimised Yield – for Science, Technology and Education – of Radiation). De grootste verbetering in OYSTER bestaat uit de aanschaf van een zogenoemde Koude Bron, die de snelheid van neutronen kan afremmen. Hierdoor kunnen de deeltjes gericht en

nauwkeuriger worden ingezet bij bijvoorbeeld materialenonderzoek voor kernreactoren, maar ook voor zonnecellen en batterijen en bij de opsporing en behandeling van kanker. Via OYSTER kan het RID zijn internationale positie als expertise- en opleidingscentrum op het gebied van straling behouden en versterken.

**Meer informatie:** Rudy Konings. Hoogleraar Chemistry of the Nuclear Fuel Cycle, afdeling Radiation, Radionuclides & Reactors. Faculteit Technische Natuurwetenschappen, e-mail: Rudy.Konings@ec.europa.eu.  
*Ineke Boneschansker, wetenschapsvoorlichter TU Delft. Tel: 015 278 8499, e-mail: I.Boneschansker@tudelft.nl.*

## URENCO: uniek in westerse wereld als producent stabiele isotopen

**Almelo - URENCO Nederland BV is vooral bekend van het verrijken van uranium voor kerncentrales met behulp van ultracentrifugetechnologie. Maar de zelfstandige business unit Stable Isotopes van URENCO levert ook halfproducten voor de medische sector. Wereldwijd zijn er maar enkele producenten van (zware) stabiele isotopen waarbij URENCO de enige is in de westerse wereld.**

Ook voor de verrijking van stabiele isotopen maakt URENCO gebruik van de ultracentrifugetechnologie. Voor het verrijgingsproces van stabiele isotopen moet een geschikte gasvormige verbinding van het element beschikbaar zijn. Arjan Bos, hoofd afdeling Stable Isotopes URENCO: "In onze eigen R&D-afdeling doen wij onderzoek naar de juiste gasvormige chemische verbindingen die voor verrijking geschikt zijn."

Bos: "Wij bevinden ons vooraan in de medische productieketen. Op verzoek van klanten uit bijvoorbeeld de radiofarmaceutische industrie produceren wij het gewenste isotoop. Na verrijking vindt meestal een chemische conversie plaats van de gasvormige verbinding. Daarmee houdt in principe voor ons het werk op. Voordat onze isotopen echter medisch worden ingezet, is het noodzakelijk deze

radioactief te maken. Dat kan in een hoge flux reactor zoals de HFR in Petten, maar ook in een cyclotron." URENCO heeft dan regelmatig contact met de mensen van NRG. Bos: "Ik schat dat we toch wel meerdere keren per maand onderling contact hebben. Het kan namelijk zo zijn dat een klant uit de VS een radioactief isotoop geleverd wil krijgen. Wij zorgen er dan voor dat ons product op verzoek van onze klant via Petten naar de VS gaat."

In totaal produceert URENCO ongeveer twintig producten waarvoor de vraag zowel uit de industrie als uit de medische hoek kan komen. De medische isotopen worden ondermeer toegepast voor het opsporen en behandelen van tumoren. Voor onderzoek naar de schildklier maken medici gebruik van jodium-123. Dit radio-isotoop wordt verkregen door xenon-124 in een cyclotron met protonen te activeren. Maar net



Arjan Bos

als bij uranium 235 dat voor gebruik in kerncentrales van een natuurlijke verhouding van 0,7 procent verrijkt moet worden naar ongeveer vier procent, moet xenon-124 uit een natuurlijke 'verzameling' van negen stabiele xenon-isotopen worden gehaald. Bos: "In natuurlijk xenon zit minder dan 0,1 procent xenon-124 terwijl onze klanten het tot 99,9 procent verrijkt willen hebben. Voor een liter verrijkt xenon-124 heb je dus wel duizend liter natuurlijk xenon nodig." Afgeleide producten van xenon-124 vinden hun weg naar ziekenhuizen voor de behandeling van bijvoorbeeld prostaatkanker. Bos: "Na bestraling van het isotoop xenon-124 in een hoge flux reactor ontstaat jodium-125 dat uiteindelijk in titanium capsules in het lichaam wordt gebracht. Het grote voordeel is dat er niet in de prostaat gesneden hoeft te worden en de bijwerkingen voor de patiënt





beduidend minder zijn. De capsules blijven enkele maanden specifiek op de gewenste locatie werkzaam.” Een andere toepassing van xenon is het isotoop xenon-129 dat de mogelijkheden van MRI-scans heeft vergroot. Door het gas in te ademen, zijn met behulp van MRI-technieken scans van weefsels te maken waarin geen water zit, zoals bijvoorbeeld de longen. Bovendien lost xenon-129 op in bloed, waardoor een goed beeld van de bloedbaan verkrijgbaar is. Bos: “Ook voor PET-scans leveren wij een bijdrage met verrijkt tellurium-124 wat geactiveerd wordt naar jodium-124 dat een langere halfwaardetijd heeft dan het ‘traditionele’ fluor-18 waardoor b.v. meerdere scans zijn te maken. Een ander product van URENCO is het isotoop iridium-191 dat na bestraling in een hoge flux reactor als iridium-192 wordt gebruikt om tumoren van binnenuit, plaatselijk te bestralen door de iridium-192 bron, ter grootte van een rijstkorrel via een lange flexibele draad in het lichaam te brengen. Deze

zogenaamde brachytherapie beperkt de schade aan gezond weefsel. Het liefst werkt Bos met fluorideverbindingen. “Als het kan werken we met metaalfluoriden omdat de materialen in onze installaties daar goed tegen bestand zijn. Deze metaalfluoriden zijn over het algemeen stabiel en goed gasvormig te maken. Een ander voordeel van het gebruik van fluor is dat het mono-isotoop is. Dit is gunstig voor het verrijgingsproces.” Voor zink en cadmium maakt URENCO gebruik van organometaalverbindingen omdat er geen geschikte fluorideverbindingen zijn. Bos: “In onze eigen R&D-afdeling doen wij dan ook onderzoek naar de juiste gasvormige chemische verbindingen die voor verrijking geschikt zijn.” Na het verrijken van UF6 in uranium-235 vindt geen chemische omzetting plaats, bij de stabiele isotopen is dat vaak wel het geval. “De klant wil de door ons verrijkte stabiele isotoop meestal in vaste vorm en niet in de gasvormige chemische verbinding die noodzakelijk

is voor de verrijking. Wij verzorgen dus enerzijds een chemische omzetting en anderzijds een fysische waar het gaat om bijvoorbeeld het vervaardigen van pellets.” De afdeling Stabiele Isotopen binnen URENCO Nederland is klein. “Wij maken gebruik van enkele cascades, terwijl wij voor de verrijking van uranium-235 voor kerncentrales tienduizenden centrifuges gebruiken”, licht Bos toe, “We zijn een volwaardige business unit die de concurrentie met de andere producenten wereldwijd goed aan kan.” Met URENCO hebben we in combinatie met de overige bedrijven zoals NRG, Covidien, GE Healthcare, BV Cyclotron VU en COVRA in Nederland een bijzondere en complete medische productieketen. De business unit Stable Isotopes is namelijk wereldwijd één van de in totaal ongeveer vijf productiebedrijven van zware stabiele isotopen. Met de overige bedrijven in Rusland is URENCO in Almelo de enige producent in het westen en dat onderscheidt ons van bijna alle landen.

## BV Cyclotron VU belangrijke ketenspeler

**Amsterdam - De BV Cyclotron VU op de campus van de Vrije Universiteit in Amsterdam is een zelfstandig bedrijf binnen de keten van producenten van medische radiofarmaca.**

Als spin-off van de universiteit produceert Cyclotron complete en gebruiksklare radiofarmaca in samenwerking met Covidien en IBA. Cyclotron beschikt daarnaast over een eigen R&D-afdeling waar nieuwe producten worden ontwikkeld. “We zijn op dit moment bezig met de ontwikkeling van een tracer die de diagnose van de ziekte van Alzheimer mogelijk maakt”, aldus Managing Director Perry Kruijer.

“Op de locatie waar we nu zitten, werd vanaf de jaren zestig onderzoek verricht met een cyclotron. Door de bezuinigingsronden in de jaren tachtig rees de vraag of we onze activiteiten wellicht als zelfstandig bedrijf konden voortzetten. De overstap van onderzoek naar productie was daarvoor noodzakelijk”, vertelt Kruijer. In 1987 startte het zelfstandige bedrijf met de productie van radiofarmaca voor ziekenhuizen ten behoeve



*Perry Kruijer*

van diagnostiek en onderzoek. Kruijer: “We hebben destijds vrijwel direct contact opgenomen met Mallinckrodt, wat tegenwoordig Covidien is, voor het aangaan van een samenwerkingsverband. Dat bleek goed uit te komen omdat het bedrijf in Petten

een tekort aan cyclotroncapaciteit had.” Covidien bleef jarenlang de enige klant van Cyclotron tot ook met het Belgische IBA een overeenkomst werd gesloten. Cyclotron levert geen halfproducten maar kant-en-klare PET- en SPECT-radiofarmaca. Het complete proces van het radioactief maken van het basismateriaal, de chemische koppeling, de sterilisatie van het eindproduct, tot het transportgereed zetten van het product vindt bij Cyclotron plaats. “Wij vervaardigen een compleet en gebruiksklaar product. Covidien en IBA distribueren onze producten onder hun eigen naam.” Kruijer benadrukt dat beide bedrijven zelf verantwoordelijk zijn voor het product. “Het registreren van een farmaceutisch product is niet voor iedereen weggelegd. Covidien en IBA hebben beide een grote registratieafdeling. Wij produceren volgens hun registratiedossier.” Vanwege het specifieke product onderhoudt Cyclotron vaak direct contact met de klanten van Covidien of IBA. “Dat heeft voornamelijk te maken met de korte halfwaardetijd van onze producten. Sommige medicijnen hebben een halfwaardetijd van ongeveer twee uur. Als we ons product bijvoorbeeld van Amsterdam eerst naar Petten zouden moeten sturen, wordt kostbare tijd verloren.” Volgens Kruijer is de tracer FDG een van de succesvolste producten. “Het is een suiker waaraan het radioactieve Fluor-18 is gekoppeld. Suiker wordt overal in het lichaam als brandstof gebruikt, maar vooral in woekerende weefsels. FDG is daarmee een uitstekend middel om tumoren en uitzaaiingen te traceren.” Als producent van PET-radiofarmaca neemt BV Cyclotron VU in de Nederlandse productieketen een belangrijke plaats in. Eén van de bedrijven waar het bedrijf de rondstoffen van afneemt, is URENCO Nederland. “URENCO is voor ons een belangrijke leverancier. Maar sommige grondstoffen, zoals bijvoorbeeld

zuurstof-18, betrekken we via een ander bedrijf omdat die niet met behulp van ultracentrifuges, maar via destillatie wordt verkregen”, licht Kruijer toe: “Daarnaast maken we ook gebruik van natuurlijke grondstoffen die geen verrijking behoeven.” Als zelfstandig bedrijf heeft BV Cyclotron VU een eigen R&D-afdeling waar nieuwe producten worden ontwikkeld. “We zijn op dit moment bezig met de ontwikkeling van een tracer die de diagnose van de ziekte van Alzheimer mogelijk maakt.” De aandacht voor het onderzoek hiernaar is van belang omdat het aantal patiënten als gevolg van de vergrijzing en het probleem van de diagnosestelling naar verwachting alleen maar zal toenemen. Kruijer: “Het is een lastige ziekte waarbij een zekere diagnose nu pas na het overlijden van een patiënt is vast te stellen.” Naast Cyclotron zijn ook andere bedrijven en instellingen bezig met de ontwikkeling en productie van radiofarmaca. “In 1997 zijn wij met de commerciële productie van FDG gestart. Op dat moment leverden wij aan drie ziekenhuizen. Inmiddels zijn er 34 ziekenhuizen in Nederland die FDG gebruiken. De marktgroei heeft ervoor gezorgd dat meer partijen in de productie geïnteresseerd zijn geraakt.” Naast directe concurrenten zijn er ook faciliteiten zoals die bij de universiteit van Groningen die alleen voor zichzelf produceren en puur voor research zijn ingericht. In de komende jaren staat er nog veel op stapel voor BV Cyclotron VU. Kruijer: “De campus gaat compleet op de schop. De herinrichting betekent voor ons dat wij van onze huidige locatie naar een ‘imaging gebouw’ op de nieuwe VU-VUmc-campus verhuizen. Dit gebouw wordt ook ingericht voor onder meer MRI- en CT-technieken.” De herlocatie maakt deel uit van de functionele clustering van onderwijs en onderzoek. Kruijer verwacht in 2015 tezamen met de overige imaging-onderdelen in het nieuwe gebouw te kunnen plaatsnemen.

## Na Fukushima

De tsunami in Japan heeft opnieuw duidelijk gemaakt dat het toepassen van nucleaire technieken, in dit geval met name voor het opwekken van elektriciteit, een uiterst zorgvuldige werkwijze vereist.

In Japan is pijnlijk duidelijk geworden dat de kans op ‘van buiten komende onheilen’ in elk geval daar zijn onderschat. Hoe kon het gebeuren dat bekende gegevens ten aanzien van frequentie en intensiteit van aardbevingen en tsunami’s op onvoldoende wijze zijn opgenomen in de ontwerpcriteria van de reactoren ter plaatse? Er is in elk geval aanleiding tot vragen als we uitgaan van hetgeen daarover op internet is te vinden; zie het betreffende artikel elders in deze nieuwsbrief.

Toch mag “Japan” geen reden zijn om nucleaire technologie in het verdomhoekje te plaatsen. De toekomstige energiebehoefte groeit wereldwijd en blijft groeien. Zo lang niet duidelijk is of we met ‘zon en wind’ in die behoefte kunnen voorzien, blijft kernenergie de enige bron die in voldoende mate beschikbaar zal zijn en blijven en die in milieutechnische zin aan de te stellen eisen voldoet. Maar Japan heeft wel heel duidelijk geïllustreerd dat de randvoorwaarden waarbinnen we deze technologie gebruiken keihard moeten worden nageleefd. En bij het formuleren van die voorwaarden mag best een flinke hoeveelheid creativiteit aanwezig zijn in termen van: wat zou er allemaal kunnen gebeuren?

*Redactie*

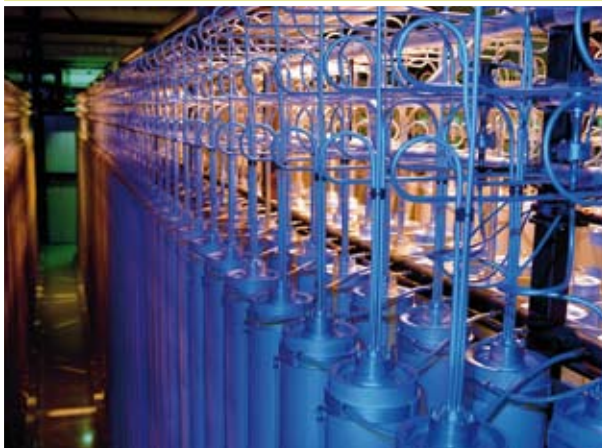


## PROCES VAN DE PRODUCTIE, TOEPASSING EN VERWERKING



### STAP 01 Productie van isotopen

Isotopen zijn verschillende vormen van hetzelfde element (atoom). Radioactieve isotopen hebben de eigenschap dat ze op een bepaald moment vervallen. Dat moment komt spontaan, maar kan ook kunstmatig worden opgewekt. Stabiele isotopen hebben deze eigenschap niet en zijn dus niet radioactief. URENCO verrijkt de stabiele isotopen zoals xenon-124 en iridium-191 met behulp van ultracentrifugetechnologie waarna ze in de vorm van kleine pellets in een kernreactor of cyclotron kunnen worden geactiveerd.



### STAP 02 Activering van isotopen

#### Kernreactor

In een reactor worden stabiele isotopen geactiveerd. Daarnaast wordt in een reactor molybdeen-99 geproduceerd door targets met uranium te bestralen. Molybdeen heeft een halveringstijd van 66 uur en vervalt daarbij tot technetium-99m met een halveringstijd van zes uur. Technetium-99m is een isotoop dat heel veel in de medische diagnostiek wordt gebruikt. Na bestraling in de reactor worden radio-isotopen in een farmaceutische faciliteit verwerkt tot radiofarmaca.

#### Cyclotron

In een cyclotron worden protonen met behulp van een magneetveld en een elektrisch veld versneld waarna ze tegen een zogenoemd 'target' botsen. Hierbij worden de stabiele isotopen in de target geactiveerd. De halfwaardetijden van de radio-isotopen uit een cyclotron zijn vaak heel kort. Het is daarom belangrijk om de afstand tussen patiënt en cyclotron zo klein mogelijk te houden.



### STAP 03 Transport

Zodra de radiofarmaca de benodigde veiligheid zijn uitgevoerd, worden ze vervoerd naar ziekenhuizen. Alle vervoersmiddelen volgens Europese wetgeving vergezeld van etiketten en papieren die vermelden welke stof het is, hoe hoog de radioactiviteit is. De isotopen worden vervoerd in vrachtwagens of per trein. De combinatie van stof en vervoer is bepalend voor de veiligheid. De vrachtwagens die worden gebruikt zijn vervoeren zijn herkend door speciale borden.





## ING VAN MEDISCHE ISTOPEN VOOR DIAGNOSES (IMAGING)



### STAP 04 Toepassingen

### STAP 05 Afval verwerking

radiofarmaca gereed zijn en veiligheidssteden zijn. De radiofarmaca worden vervoerd naar de productiecentra. De producten moeten veilig worden vervoerd en wereldwijd worden gebruikt. Hierop staat de veiligheid van de juiste toepassing. Hierop staat de veiligheid van de juiste toepassing. Hierop staat de veiligheid van de juiste toepassing.

Op de nucleair geneeskundige afdeling van een ziekenhuis worden radiofarmaca gebruikt voor diagnose, behandeling en pijnbestrijding. Bijna negentig procent van de nucleair medische toepassingen zijn diagnostisch. Met behulp van een tracer wordt een werkzame stof op de gewenste locatie in het lichaam van de patiënt gebracht. De straling ter plaatse geeft bij diagnostische gebruik de nucleair geneeskundige inzicht in eventuele tumorvorming of bestrijdt de tumor bij een therapeutische toepassing. Wereldwijd worden jaarlijks op nucleair geneeskundige afdelingen meer dan 30 miljoen keer gebruik gemaakt van radio-isotopen.

Alle instellingen in Nederland die werken met ioniserende materialen zijn op basis van de Kernenergiewet (Kew) verplicht een vergunning aan te vragen en te committeren zich om al hun radioactief afval bij de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) op te slaan. Alle ketenspelers van de productieketen van radiofarmaca zijn dan ook 'klanten' van de COVRA die zorg draagt voor het verzamelen, verwerken en opslaan van radioactief afval. Voor de opslag onderscheidt COVRA laag- en middelradioactief en hoogradioactief afval. Het hoogradioactieve afval slaat COVRA op in de HABOG, het Hoogradioactief Afval Behandelings- en Opslag Gebouw. Alle handelingen worden gecontroleerd door COVRA en door de inspectiediensten van de overheid en internationale organisaties.



ZIEKENHUIS  
**ST ANTONIUS**





# NRG staat voor leveringszekerheid en zuiverheid

**Petten - Met de Hoge Flux Reactor (HFR) bevindt Nuclear Research and consultancy Group (NRG) in Petten zich in het midden van de keten waar het gaat om de vervaardiging van medische isotopen.**

NRG activeert stabiele isotopen van bijvoorbeeld URENCO of produceert molybdeen, hét werkpaard van de nucleaire geneeskunde, door targets met uranium te bestralen. De halfabrikaten vinden vervolgens hun weg richting farmaceutische bedrijven zoals Covidien voor verdere verwerking. Met de uitgebreide nucleaire infrastructuur produceert NRG een breed scala van ruim tien soorten radio-isotopen van molybdeen-99 (met name diagnosestellingen) en Jodium-131 (schildklieraandoeningen) tot minder bekende isotopen als erbium-169 (voor de behandeling van artritis) en holmium-166 dat nog in ontwikkeling is voor de behandeling van onder meer lever- en bloedkanker. Ronald Schram, Business Unit Manager Irradiation and Development: “Molybdeen-99 is voor ons echt de nummer één bij de productie van radio-isotopen” Molybdeen-99 wordt mondiaal in tachtig procent van de medische toepassingen gebruikt en in slechts vijf reactoren geproduceerd waarbij de Chalk River reactor in Canada en de HFR tezamen verantwoordelijk zijn voor ongeveer zeventig procent van het totaal.

Voor het verkrijgen van het molybdeen worden plaatjes aluminium waarin uranium is opgenomen gedurende een aantal dagen in de HFR bestraald. Schram: “Bij die bestraling komt zo’n beetje het complete periodieke systeem aan elementen vrij, maar gelukkig wordt er verhoudingsgewijs veel molybdeen geproduceerd.” Na de bestraling gaan de targets in

speciale met lood beklede containers via de Hot Cell Laboratoria naar de Molybdeen Productie Faciliteit op het terrein, waar het molybdeen via een chemisch proces wordt afgescheiden. Hierna gaat het molybdeen naar de laboratoria van het farmaceutische bedrijf Covidien dat zich ook in Petten bevindt. Hier wordt het molybdeen in de generatoren opgenomen, ook wel technetium-koeien genoemd. Met een halfwaardetijd van 66 uur voor molybdeen blijft een generator voor een ziekenhuis enkele dagen werkzaam. In de ziekenhuizen ‘spoelen’ medici het technetium-99m, het dochterproduct van molybdeen, uit de generator en gebruiken het voor het stellen van diagnoses. Technetium-99m is zo populair omdat die stof precies de goede fysische en chemische eigenschappen bezit. De uitgezonden gammastraling heeft de juiste energie om een goede afbeelding te verkrijgen. De stralingsbelasting voor de patiënt is daarbij zeer laag. Technetium-99m laat zich bovendien gemakkelijk binden aan veel verschillende chemische stoffen zodat het voor uiteenlopende diagnoses bruikbaar is. De halveringstijd is zes uur, lang genoeg om het medisch onderzoek goed uit te voeren en kort genoeg om de patiënt na het onderzoek niet in het ziekenhuis te hoeven houden. Dagelijks worden er in ziekenhuizen wereldwijd 24.000 patiënten behandeld met isotopen uit Petten. Ruim zestig procent van de diagnoses in Europa, wordt uitgevoerd met materiaal dat is gemaakt in Petten. De wereldwijde vraag naar molybdeen



Ronald Schram

groeit al jaren en NRG heeft een wereldwijde reputatie als het gaat om leveringszekerheid en zuiverheid van het product. De combinatie van de aanwezigheid van een reactor en een speciale productiefaciliteit op een en hetzelfde terrein, geeft Nederland een unieke positie in de wereld. De mondiale productiecapaciteit blijkt echter gevoelig. Schram: “De reparatie van de HFR en de Chalk River reactor in het afgelopen jaar en het daardoor wegvallen van de productie van molybdeen heeft de noodzaak aangetoond van een ‘robuuste’ capaciteit van radio-isotopen.” Door het tijdelijke tekort moesten diagnoses worden uitgesteld en ontstonden wachtlijsten. Wat volgens Schram noodzakelijk is, is leveringszekerheid door overcapaciteit om een volgende isotopen crisis te voorkomen. “Wat je ook in de elektriciteitsmarkt ziet, is dat je in principe drie maal meer moet kunnen produceren dan de gemiddelde vraag”, licht Schram toe. Op dit moment is het aanbod dus te laag. Volgens Schram is de leveringszekerheid ook een onderwerp dat bij de intergouvernementele organisatie OECD/NEA hoog op de



agenda staat: "Er vindt op dit moment overleg plaats om de 'aanbodmarkt' te versterken." Een bijkomend probleem is dat alle reactoren oud zijn en net zoals de HFR binnen afzienbare tijd aan het

einde van hun technische levensduur komen. "Het geeft de noodzaak aan voor de bouw van een nieuwe reactor zoals PALLAS, de beoogde vervanger van de HFR." Wat betreft het proces

volgt nu de fase van de aanbesteding, waarna het detailed design kan starten. "Als alles voorspoedig verloopt, neemt PALLAS omstreeks 2020 de functie van de HFR over", aldus Schram.

## COVRA: bijzondere positie binnen de keten

**Borsele - Binnen de keten van producenten van radiofarmaca neemt de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval in Borsele (COVRA) een bijzondere positie in.**

Alle instellingen in Nederland die werken met ioniserende materialen zijn op basis van de Kernenergiewet (Kew) verplicht een vergunning aan te vragen en committeren zich om al hun radioactief afval bij de COVRA op te slaan. Alle ketenspelers van URENCO als grondstoffenproducent tot ziekenhuizen als eindgebruikers zijn 'klanten' van de COVRA. Om te voorkomen dat radioactief afval in het milieu terecht komt, is het noodzakelijk dat afval te verzamelen, te verwerken en op te slaan. Als enig bedrijf in Nederland is hiertoe de COVRA aangewezen. Dat kernenergiecentrales radioactief afval produceren is algemeen bekend. Minder bekend is dat ook ziekenhuizen, onderzoeksinstellingen en industrie radioactief afval produceren. Volgens Ewoud Verhoef, adjunct directeur COVRA gaat het in totaal zelfs om zo'n tweehonderd instellingen en bedrijven in Nederland die radioactief afval produceren. Wat die bedrijven en instellingen gemeen hebben is een vergunning op grond van de Kernenergiewet (Kew). "Zonder vergunning is het verboden, radioactief materiaal te hebben of ioniserende straling uitzendende toestellen te gebruiken", licht Verhoef toe. Het Ministerie van EL&I verleent de Kew-vergunningen. Verhoef: "Die vergunning krijgt een organisatie niet zomaar. Er moet een rechtvaardiging zijn voor het gebruik van radioactief materiaal waarbij een alternatief ontbreekt." Als voorbeeld

geeft Verhoef de productie van gaskousjes die voorheen waren voorzien van thorium voor verkrijgen van fraai wit licht en ionisatie rookmelders waarin americium was opgenomen. Gaskousjes met thorium zijn tegenwoordig verboden en er worden optische rookmelders gebruikt.

Binnen de keten van producenten van radiofarmaca neemt COVRA een afwijkende positie in omdat het als geautoriseerde instelling afval inneemt van alle ketenspelers. "Voor al het afval is er één integrale oplossing bij COVRA. Bij de verwerking van de verschillende soorten afval streven we naar uniforme, en relatief kleine opslagverpakkingen zodat het afval gemakkelijk getransporteerd en gestapeld kan worden. Eenvoudige, robuuste afvalverpakkingen en opslagloodsen zorgen voor passieve veiligheid en minimaliseren onderhoud", aldus Verhoef. Voor de ontvangst van vast afval maakt de COVRA bijvoorbeeld gebruik van blauwe honderdliter vaten die naar de instellingen worden verstuurd. "Wanneer de vaten vol zijn neemt de instelling contact met ons op. Na de overdracht is het vat ons eigendom en vervoeren wij het naar Borssele." In de blauwe vaten zit bijvoorbeeld ziekenhuisafval zoals handschoenen, laboratoriumglaswerk, naalden of anderszins. Bij de COVRA wordt de inhoud van de vaten vast afval met een 1.500 tons pers tot een klein pakket geperst. Verhoef: "Vier tot vijf van



Ewoud Verhoef

dit soort pakketten conditioneren we in tweehonderd liter vaten met beton. Geeft de betonnen laag van vijf centimeter dik nog niet voldoende afscherming dan plaatsen we deze vaten in grotere betonnen containers met een inhoud van duizend liter. Hierdoor is het stralingsniveau in de opslaggebouwen laag. Een dag werken levert een vergelijkbare dosis op als een dag skiën in de Franse Alpen."

Voor de opslag onderscheidt COVRA laag- en middelradioactief afval en hoogradioactief afval. Het hoogradioactieve afval slaat COVRA op in de HABOG, het Hoogradioactief Afval Behandelings- en Opslag Gebouw. "Het gaat daarbij om een jaarlijkse aanvoer van drie tot vier kubieke meter afval. Het laag- en middelradioactieve afval dat we jaarlijks in ontvangst nemen bedraagt ongeveer 1.000 kubieke meter." Het COVRA-terrein is met ongeveer twintig hectare meer dan groot genoeg om de totale hoeveelheid radioactief afval dat naar verwachting in de komende honderd jaar wordt geproduceerd veilig op te slaan.



Afval met een korte halfwaardetijd zou, wanneer het niet meer radioactief is, naar de reguliere afvalverwerking kunnen. “We hebben een experiment gedaan met twintig vaten waarvan de inhoud vervallen was. Het vrijkomende beton was schoon en kwam voor hergebruik in aanmerking, het staal ging naar de schroothandelaar en de inhoud werd verbrand bij een gespecialiseerd bedrijf”, verklaart Verhoef. Volgens hem bleek de verwerking van de inhoud nog wel op weerstand te stuiten: “Het is voor veel mensen moeilijk voorstelbaar dat radioactief afval gewoon door opslag niet meer radioactief wordt.” Ongeveer tweederde van het opgesla-

gen afval is na honderd jaar opslag niet meer radioactief. Verhoef: “Het deel dat nog steeds radioactief is, komt voor eindberging in aanmerking. Dat is de definitieve berging in stabiele geologische aardlagen in de diepe ondergrond.” Eindberging is naar de huidige stand van de wetenschap de enige oplossing die verzekert dat het afval ook na duizenden jaren buiten de levensruimte van de mens blijft. Het onderzoek naar eindberging is een integraal onderdeel van het Nederlands radioactief afval beleid. De coördinatie daarvan behoort tot de kerntaken van COVRA. Of er eindberging in Nederland komt, staat nog niet vast. Verhoef: “De kosten voor eindberging

worden slechts voor een klein gedeelte bepaald door de hoeveelheid afval. Voor landen zoals Nederland met een klein nucleair programma is een nationale eindbergingsfaciliteit dan ook verhoudingsgewijs duur.” Het ligt dus meer voor de hand dat landen als Duitsland, Frankrijk en België met grote nucleaire programma’s een nationale eindberging ontwikkelen en met landen met kleinere hoeveelheden radioactief samenwerken om een gezamenlijke eindberging te bouwen. Persoonlijk denkt Verhoef niet dat elk land in Europa zijn eigen eindberging krijgt. Hij voorziet dat er uiteindelijk in Europa een aantal nationale en mogelijk enkele regionale bergingen komen.

## Diagnose en behandeling: nucleaire geneeskunde

**Nieuwegein - “Nucleair geneeskundigen zijn de eindgebruikers in de keten van bedrijven die zich bezig houden met de productie en verwerking van medische radio-isotopen”, aldus Fred Verzijlbergen, de voorzitter van de Nederlandse Vereniging voor Nucleaire Geneeskunde (NVNG).**

Deze vereniging behartigt al 45 jaar de belangen van iedereen die werkzaam is in de nucleaire geneeskunde van nucleair geneeskundigen, ziekenhuisapothekers en klinisch fysici tot radiochemici.

Binnen de ziekenhuizen werken medici met radiofarmaca voor diagnose en therapie. Producten komen soms kant-en-klaar met tracer en label chemisch gekoppeld voor direct gebruik van de producenten. Daarnaast maken ziekenhuizen gebruik van generatoren zoals de molybdeen-generator waaruit het technetium als label ter plaatse aan een tracer wordt gekoppeld. Verzijlbergen is een enthousiast bepleiter van de toepassing van radiofarmaca. “Het principe van de werkzaamheid van radiofarmaca is van een grote schoonheid. Je brengt met behulp van een tracer een werkzame

stof op de gewenste locatie in het lichaam geheel afgestemd op het proces en zonder dat het lichaam dat merkt.” De straling ter plaatse geeft bij diagnostische gebruik de nucleair geneeskundige inzicht in eventuele tumorvorming of bestrijdt de tumor bij een therapeutische toepassing. “Dit is een belangrijk verschil ten opzicht van uitwendige bestraling die veel belastender is voor de patiënt om nog maar niet te spreken over chemotherapie”, aldus Verzijlbergen. Een goed voorbeeld van een specifieke behandeling is volgens Verzijlbergen het gebruik van jodium-131. Met dit radio-isotoop is de behandeling van schildklierkanker en eventuele uitzaaiingen daarvan mogelijk. De schildklier heeft de eigenschap om jodium uit de omgeving op te nemen zonder onderscheid te maken tussen



Fred Verzijlbergen

‘natuurlijk’ jodium en het radioactieve isotoop. “Bij uitzaaiingen in de longen als gevolg van schildklierkanker behouden de tumoren veelal het vermogen om jodium op te nemen. Dus bij toediening van jodium-131 is het mogelijk om deze specifieke vorm van longuitzaaiingen te behandelen.” Verzijlbergen is ervan overtuigd dat er nog veel meer van dit soort processen in het lichaam behandelbaar zijn. “Het is mijn grote droom voor de toekomst om specifieke antistoffen te maken op basis van unieke tumoren van patiënten. Door

de antistof aan een radioactieve stof te koppelen en de kanker daarmee 'op maat' te bestrijden." De ontwikkeling gaat wat Verzijlbergen betreft helaas nog niet snel genoeg, maar vooruitgang is er wel: "Sinds kort zijn we gestart met een radio-isotoop dat in een cyclotron wordt geproduceerd en dat we heel specifiek inzetten voor de diagnose van prostaatkanker. Hierbij is aan het isotoop fluor-18 het (redelijk) specifieke aminozuur choline gekoppeld dat na het inbrengen in de bloedbaan de uroloog inzicht geeft in de eventuele uitzaaiingen." Een groot voordeel van het gebruik van fluor-18 is de beperkte stralingsbelasting voor de patiënt. "De halfwaardetijd bedraagt ongeveer

100 minuten. De stralingsbelasting is vergelijkbaar met het nemen van een röntgenfoto", licht Verzijlbergen toe. Volgens hem is het van groot belang dat de nucleair deskundige het beeld dat de scan oplevert goed kan lezen. Zo geeft prostaatkanker mogelijk uitzaaiingen in de klierketens van het kleine bekken en in de botten. Kennis over de verschillende vormen van kanker en hun specifieke uitzaaiingen is essentieel. Samenwerking tussen verschillende disciplines is dan ook van eminent belang, ook bij de ontwikkeling van medicijnen. Moleculair biologen bedenken een werkzame stof. Zij moeten vervolgens naar de

radiochemicus om een koppeling te ontwikkelen tussen label en tracer. Maar ook het contact tussen de "ingenieurs" en de medici verdient aandacht, volgens Verzijlbergen. "We realiseren ons meestal niet dat we in een echte keten werken. Wij zijn allemaal professionals maar toch weten we vaak niet wat de mensen binnen de keten bij andere bedrijven doen." Symposia en andere vormen waarbij interdisciplinair overleg mogelijk is, zijn wat Verzijlbergen betreft dan ook van groot belang voor de keten omdat deze betrokkenheid vergroten, inzicht geven in de mogelijkheden die de andere professionals bieden en de onderlinge afhankelijkheid inzichtelijk maken.

Voorzitter Kernvisie en oud-directeur NRG

## André Versteegh geëerd met ridderorde

André Versteegh heeft een koninklijke onderscheiding ontvangen. Hij is benoemd tot Officier in de Orde van Oranje-Nassau. Hij kreeg de onderscheiding vanwege zijn bijzondere maatschappelijke verdiensten, waaronder zijn grote inzet voor veilige en schone energievoorziening en het behoud en ontwikkeling van de nucleaire kennisinfrastructuur van Nederland.

In de ruim dertig jaar van zijn carrière bij NRG heeft hij zich ononderbroken ingezet voor een schone en veilige energievoorziening. Zijn benadering van de materie was altijd evenwichtig; kernenergie zag hij als een techniek die naast andere technologieën een onmisbare plaats moet innemen. Hij was een belangrijke aanjager waar het ging om behoud en ontwikkeling van de Nederlandse nucleaire kennisinfrastructuur. Zijn

evenwichtige benadering maakte hem tot een gewaardeerde (mede)debater, zowel op wetenschappelijk als op maatschappelijk terrein. Mede op grond hiervan prijst Kernvisie zich gelukkig met hem als voorzitter.

Uit nationale en internationale hoek werden de volgende karakterisering van André naar voren gebracht: *Prof.dr.ir. T.H.J.J. van der Hagen, Directeur Reactor Instituut Delft:* "Als een integer en deskundig pleitbezorger met een scherp beeld van het maatschappelijk belang van kernenergie heeft hij niet alleen veel betekend voor de energiesector maar ook bijgedragen aan een genuanceerd en helder maatschappelijk debat over nucleaire technologie." *Dr. C.A.M. (Kees) van der Klein, Director of Energy research Centre of the Netherlands (ECN):* "André Versteegh heeft altijd

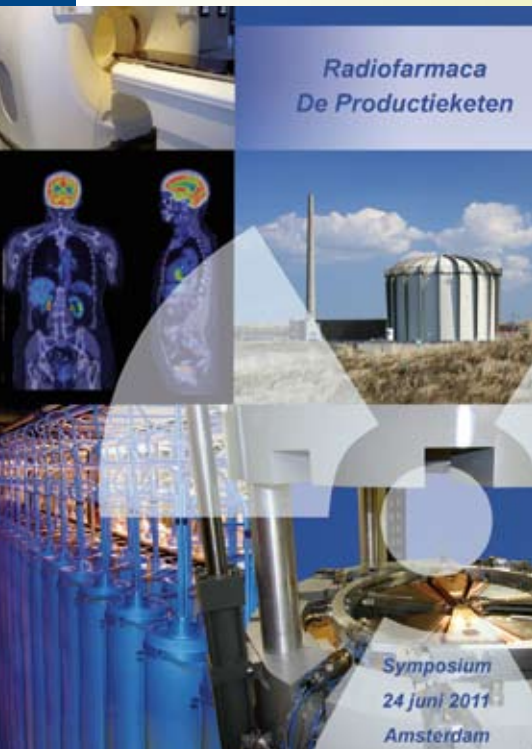


André Versteegh

gepleit voor een open maatschappelijke discussie en is degene geweest die de nucleaire optie in stand heeft gehouden." *Santiago San Antonio, Director General of FORATOM, Secretary General of ENS:* "André has used the vast experience, technical knowledge and didactic skills that he has accumulated to not only enhance his country's reputation for scientific excellence, but also to serve with equal distinction the international scientific and industrial communities." KernVisie feliciteert André Versteegh van harte met deze uitreiking.

Redactie





## Symposium: Van grondstof tot radiofarmacon, de volledige productie- keten in beeld.

Nucleaire geneeskunde heeft de afgelopen jaren een spectaculaire groei doorgemaakt in de Nederlandse ziekenhuizen. Met behulp van oraal en intraveneus toegediende radiofarmaca worden zeer verschillende ziekteprocessen in het lichaam zichtbaar gemaakt. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van conventionele gamma camera's, SPECT- en PET camera's. Door sterk verouderende reactoren en daaruit voortvloeiende productieproblemen is de aandacht ook op een andere wijze op nucleaire geneeskunde gericht.

Dit symposium beoogt te laten zien dat voor de productie van radiofarmaca een aantal stappen benodigd zijn. Deze stappen spelen zich niet alleen af in de reactor en in het cyclotron, maar ook daarvoor. Als eerste worden stabiele isotopen verrijkt, vervolgens worden deze verrijkte isotopen geactiveerd tot

radioactieve grondstoffen die uiteindelijk omgezet worden in radiofarmaca voor toepassingen in de geneeskunde. Deze stappen in de productieketen vereisen elk een bijzondere deskundigheid en vinden vaak op aparte locaties plaats. Nederland verkeert in de unieke situatie dat deze volledige productieketen binnen haar grenzen aanwezig is. Tijdens dit symposium zal iedere schakel in deze keten uitgebreid aan de orde komen.

### Organisatie

- BV Cyclotron VU, Amsterdam
- Nuclear Research & consultancy Group NRG, Petten & Arnhem
- URENCO Nederland B.V., Almelo
- Sint Antonius Ziekenhuis, Nieuwegein & Utrecht
- Nederlandse Vereniging voor Nucleaire Geneeskunde
- KIVI NIRIA afdeling Biomedische Technologie
- KIVI NIRIA afdeling Kerntechniek

### Spreekers

- Fred Verzijlbergen, St Antonius Ziekenhuis
- Perry Kruijer, BV Cyclotron VU
- Ronald Schram, NRG
- Arjan Bos, URENCO Nederland B.V.

### Subactiviteiten

- Rondleiding Cyclotron
- Rondleiding Laboratorium

### Registreren

De toegang is 25 Euro.  
Online registratie en informatie over betaalwijze op: [www.kiviniria.net](http://www.kiviniria.net).

### Waar en Wanneer

Datum: 24 juni 2011  
Plaats: VU, Amsterdam  
Adres: De Boelelaan 1085, collegezaal KC137  
Tijd: 13:00 - 17:00

### Aanmelden via internet:

[www.kiviniria.net](http://www.kiviniria.net)

## Colofon

Jaargang 6, nummer 03  
Juni 2011

KernVisie verschijnt tweemaandelijks  
Opplage 2200 ex

### Grafische realisatie

De OntwerpStek.nl, Den Helder

### Tekstproducties

Sherpa en de Fries  
communicatiebureau, West-Grafdijk.

### Bestuur van de Stichting KernVisie

Ir. A.M. Versteegh, *voorzitter*  
Ir. G.L. Dowling, *vicevoorzitter*  
Ir. G.H. Boersma, *secretaris*  
Ir. E.W. Schuurung, *penningmeester*  
Ir. J.C. van Cappelle  
Prof. Ir. R.W.J. Kouffeld

Bankrekening 6851370,  
tnv Kernvisie, Foundation for Nuclear  
Energy te Zwijndrecht.

### Redactie KernVisie

Ir. G.H. Boersma  
Ir. P.J. van der Hulst  
Ir. B.J. Visser

### Redactie adres

Notarisappel 37, 6662 JN Elst  
Telefoon: 0481-841156  
E-mail: [kernvisie@kernvisie.com](mailto:kernvisie@kernvisie.com)  
Internet: [www.kernvisie.com](http://www.kernvisie.com)

**Distributie, onder vermelding  
Stichting KernVisie, via eigen  
e-mail systemen en gebruik van  
de informatie voor lezingen,  
presentaties, studies, discussies,  
publicaties, enz. wordt op  
prijs gesteld en toegejuicht.**