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

# Productie van reactorisotopen

Ronald Schram
NRG, Petten

Symposium Kivi Niria
Radiofarmaca
De productieketen
Cyclotron VU, Amsterdam
24 juni 2011

# Inhoudsopgave

- Reactorisotopen en versnellerisotopen

- Leveringsketen van reactorisotopen
  - Status Reactoren wereldwijd
  - Rol van Nederland

- Isotopenvoorziening
  - Kwetsbaarheid
  - Isotope black-out
  - Alternatieven
    - Opbrengsten en zuiverheden

- Leveringszekerheid voor de toekomst:
  - Pallas

# Reactorisotopen en versnellerisotopen

| Reactorisotopen | Versnellerisotopen |
| --- | --- |
| Gefabriceerd ongeladen deeltjes | Gefabriceerd met geladen deeltjes |
| Isotopen zijn Neutron-rijk | Isotopen zijn Neutron-arm |
| Reacties<br>(n, fp)<br>(n, gamma) | Reacties<br>(p,xn) |

# Reactorisotopen

Isotopen voor medische doeleinden

- Therapie
- Diagnostiek
- Pijnbestrijding

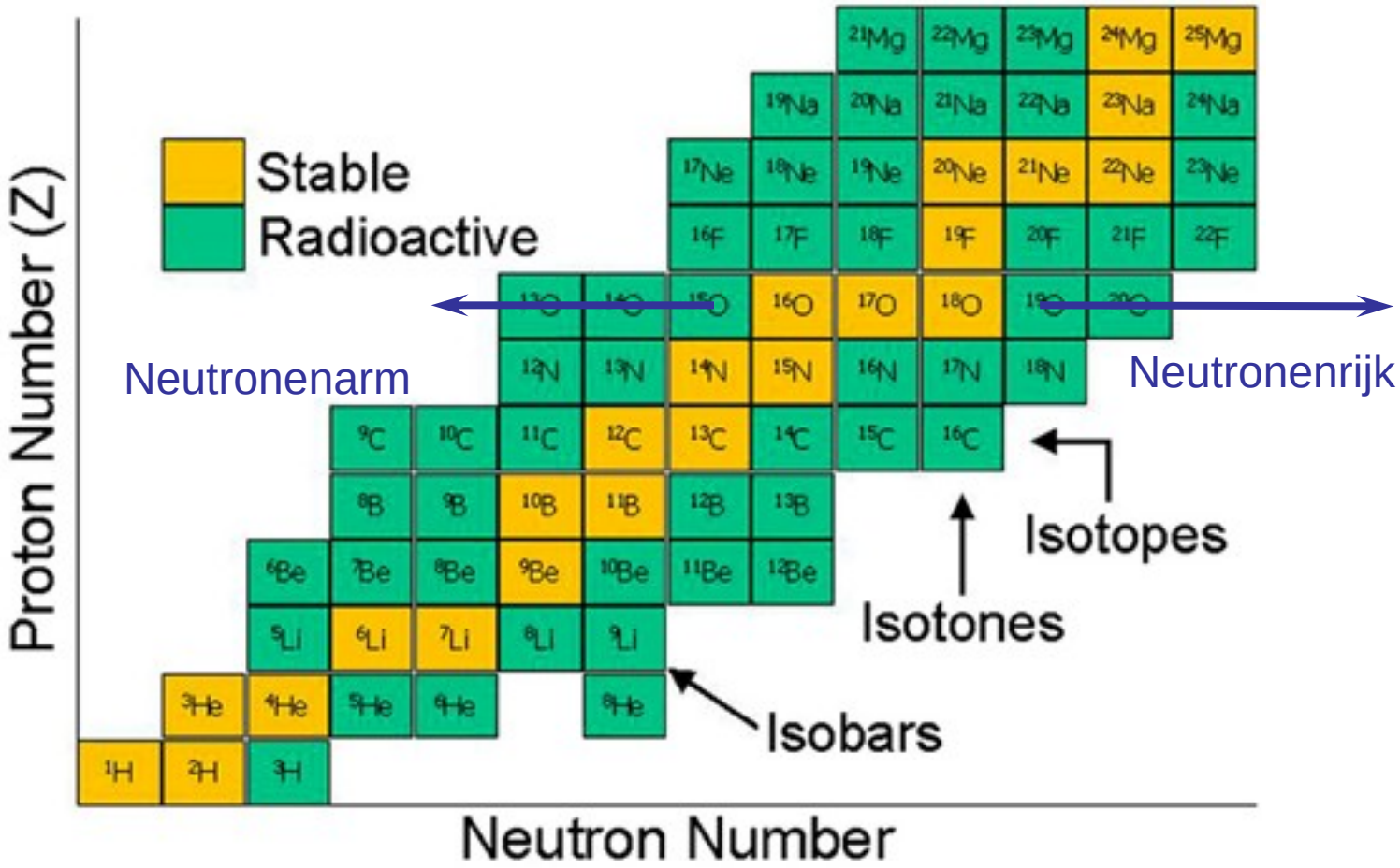
Gemaakt in een kernreactor door neutronen

Grondstof + neutronen ----> Reactorisotopen + restproducten

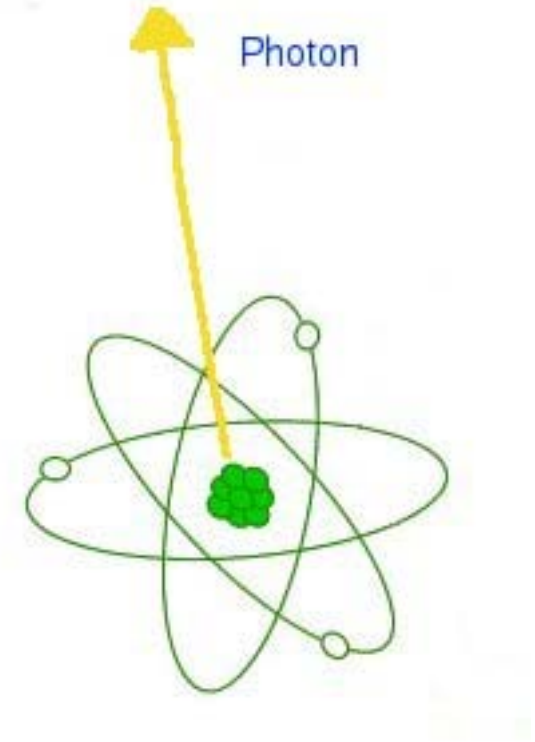
Verschillende processen:

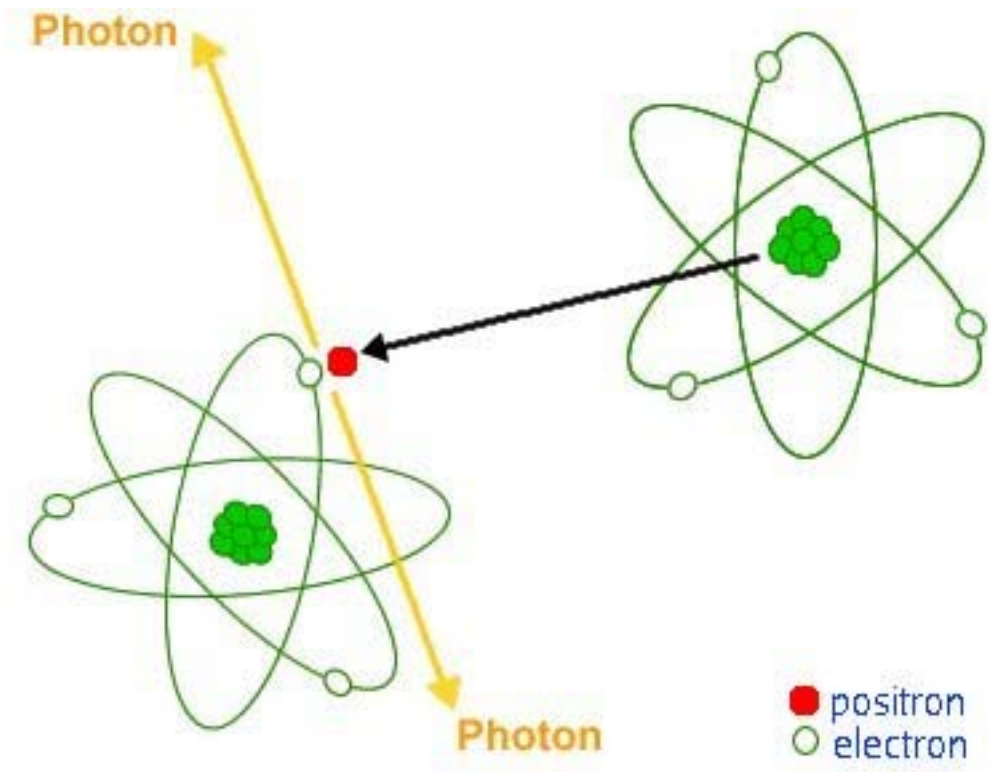
| | | | |
|---|---|---|---|
| Splijting | : | Uranium | + neutronen ----> 99Mo |
| Activering | : | Iridium | + neutronen ----> 192Ir |

# Nuclidenkaart



# SPECT and PET

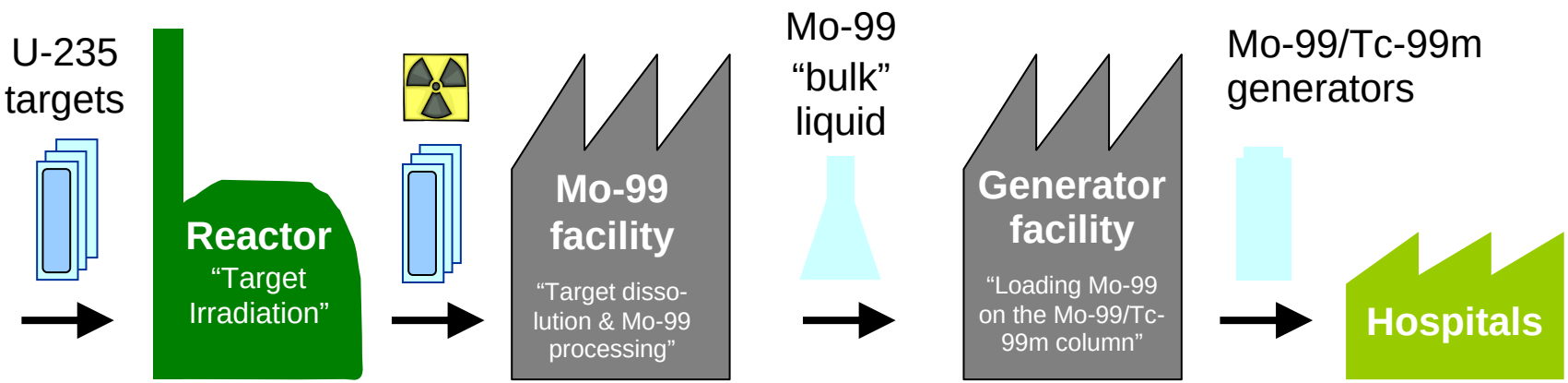



**$^{99m}$Tc – neutronrijk reactor**

**$^{18}$F – neutronarm cyclotron**

# $^{99}$Mo leveringsketen

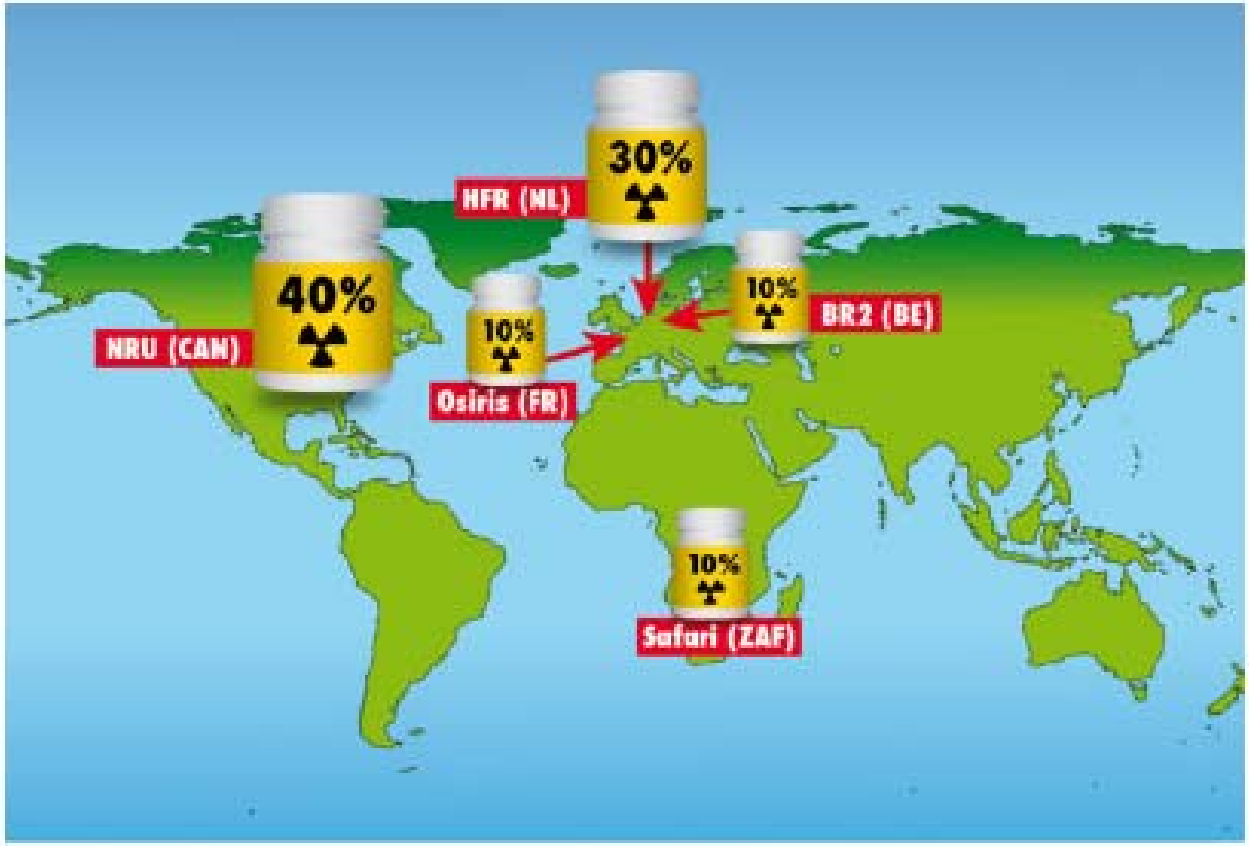



HFR
BR2
Osiris
Safari
NRU

Covidien Petten (NL)
IRE Fleurus (Belgium)
NTP (South Africa)
Nordion (Canada)

<u>Europe (top 3):</u>
Covidien Petten
CIS / IBA Saclay, France
GE Healthcare, UK

# Wereldwijde reactorproductie Mo99




30 million medical diagnoses per year

Almost completely based on U-235 fission yield retrieval

Multi-billion dollar business

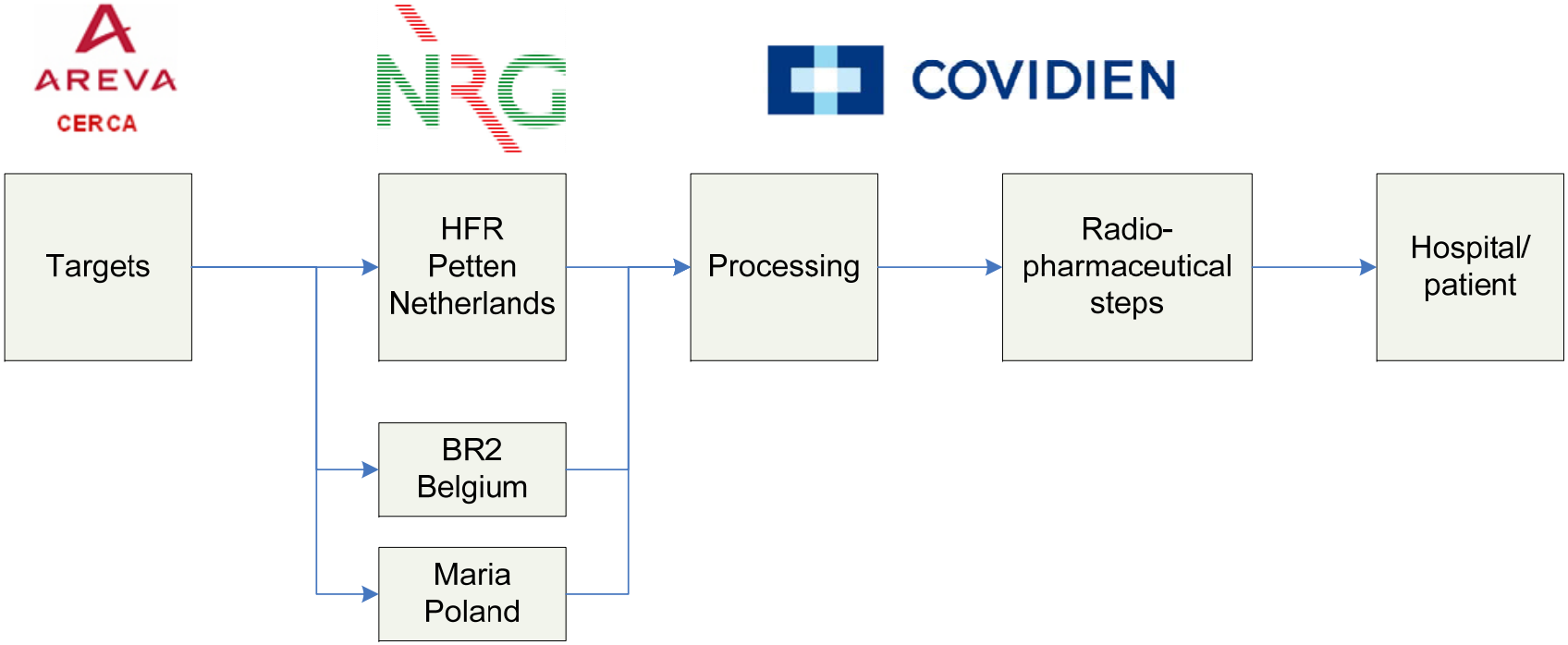
Despite promising growth of PET, Mo-99 is expected to slightly increase in next decades

The 5 main reactors are all aging and/or close to retirement

## Statis Reactoren – wereldwijd

| Reactor | Country | Critical | Power | World prod. in % |
|---|---|---|---|---|
| NRU | Canada | 1957 | 200 MW | 40% |
| HFR | Netherlands | 1961 | 45 MW | 30% |
| Safari | South Africa | 1965 | 20 MW | 10% |
| BR 2 | Belgium | 1961 | 60 MW | 10% |
| OSIRIS | France | 1964 | 70 MW | 5% |
| Others | | | | 5% |

# Rol van Nederland - Productieketen




Moly productie keten in Petten

Hoge Flux Reactor  Moly Processing Facility

Tc-generator assembly  Distribution

# Rol van Nederland - Faciliteiten

*Hoge Flux Reactor*

*Hot Cell laboratorium*

*Actinide laboratorium*

*Molybdeen Productie Faciliteit*

# $^{99m}$Tc “koe” (generator)

Ziekenhuis wekelijks nieuwe generator

↓

Generator bevat kolom met $^{99}$Mo ($T_{1/2}$ =66 h)

↓

$^{99}$Mo vervalt naar $^{99m}$Tc (T1/2 =6 h)

↓

$^{99m}$Tc in ziekenhuis gemolken uit generator

↓

Ziekenhuis dagelijks verse 99mTc!

# Isotopen voorziening – kwetsbaarheid

Vraag vanuit ziekenhuizen:

- Gegarandeerde continue levering van medische isotopen:
  - Dagelijkse behandeling patiënten
  - Ontwikkeling nieuwe therapieën

Praktijk:

- Radioactieve isotopen kun je niet op voorraad maken
- Reactoren hebben regelmatig onderhoudsstops
- 5 reactoren (of ongeveer 500 cyclotrons) wereldwijd: precies genoeg om continue dekking te garanderen

**Als 1 reactor uitvalt => tekorten op isotopenmarkt!**

# Isotopen voorziening – ‘Isotope blackout’

HFR en NRU uitval in de periode 2008 - 2010

- Betrouwbare levering van Tc-99m is public health issue
  - Wereld supply problems in 2008 - 2010
  - Leveringszekerheid zal een issue blijven voor toekomst
- Bestaande Reactoren verouderen
  - Toename stop tijd voor onderhoud
  - Toename risico op ongeplande ‘outage’
- Huidige markt structuur is gebaseerd op
  - Bestaande (pre-existing) productie capaciteit
  - Bestaande overheids investering

# Isotopen voorziening - netwerken

- Historisch Europese leveringsnetwerk is gebaseerd op
  - Regional supply network
    - Reactors:- HFR, BR2, MARIA, *OSIRIS, Others*
    - Processors:- Covidien, *IRE*
  - Reactoren zijn ongeveer 50 years oud
- Rest of World levering is afhankelijk van
  - Mono supply lines:- 1 Reactor + 1 Processing Facility
    - Break in any component stops the whole chain
- OECD/NEA High Level Group ondersteunt geintegreerde continentale netwerken

# Isotopen voorziening – nieuwe reactoren

- FRM II (Munich, D) new Research Reactor
  - Operated by TUM since 2005
  - Mo Production from 2014 : 50% of European needs when operating
  - Operates 240 days per year
- JHR (Cadarache, F) new Materials Testing Reactor
  - Under construction to be operated by CEA from 2014
  - Planned capacity: 25% of European needs when operating, 50 % if needed.
  - Planned operation 220 days per year
- PALLAS (Petten NL) proposed Multi-purpose Reactor
  - Proposed to be operated from 2020 by NRG
  - Estimated capacity: >100% of the European needs when operating
  - Planned operation 300 days per year

# Isotopen voorziening - Alternatieven

- Extensive Review of Potential Mo-99/Tc-99m Production Technologies NEA (Nov 2010)
  - Short term
    - Reactor U fission (HEU/LEU)
    - Solution Reactor
    - Mo-98 Activation
    - Tc-99m Direct Cyclotron Production
  - Medium term
    - Photofission Electron Accelerator
    - Photonuclear Reaction Electron Accelerator
  - Long term
    - Neutron Fission – Spallation Sources
    - Technology Employing Mo-100 (n, 2n) Mo-99 reaction

# Alternatieven voor reactoren?

- Er zijn verschillende productieroutes voor Mo-99

- Belangrijk voor deze productieroutes is:
  - Inpassing in bestaande infrastructuur
  - Productievolume (opbrengst) en kwaliteit
  - Bestaande techniek of R&D-fase?
  - Locatie, logistiek
  - Economie

De Opbrengst is nader uitgewerkt* voor een aantal alternatieven:

- Bestaande reactorproductie
- Alternatief 1 Molybdeen targets in een reactor
- Alternatief 2 Molybdeen productie met versnellers
- Alternatief 3 LEU targets in reactor

Ontleend aan: van der Marck, Koning and Charlton, The options for the future production of the medical Isotope 99Mo, Europe Journal of Med Mol Imaging, 37:1817-1820 (2010)

# Alternatieven voor reactoren?

Opbrengst ~ particle flux x target volume x interaction probability (cross section)

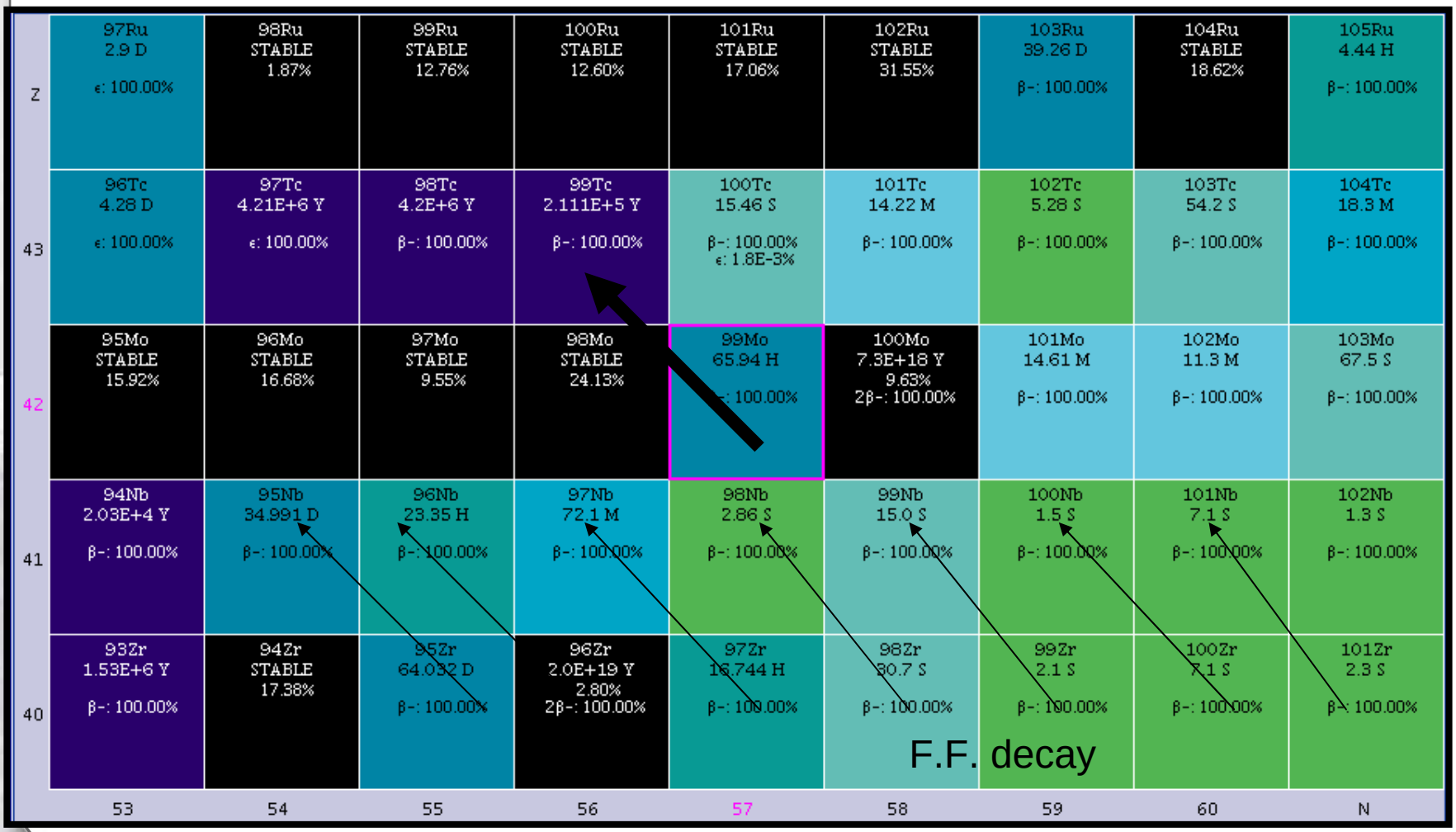
High flux reactor:

- Particle flux: $10^{14}$ – $10^{15}$ neutrons/s.cm$^2$
- Target volume: ~ 1 liter
- Cross section: ~ 35 barn voor thermische U-235 fission

| | | Reaction | Cross section $10^{-24}$ cm$^2$ (=barn) |
|---|---|---|---|
| Reactor | Current, alternative 3, 4 | $n + {}^{235}U \rightarrow {}^{99}Mo + xx + 2n$ | (586×6% =) 35 |
| | Alternative 1 | $n + {}^{98}Mo \rightarrow {}^{99}Mo$ | 0.14 |
| Accelerator | Alternative 2 | $\gamma + {}^{238}U \rightarrow {}^{99}Mo + xx + 2n$ | 0.16×6% |
| | | $\gamma + {}^{100}Mo \rightarrow {}^{99}Mo + n$ | 0.16 |
| | | $p + {}^{100}Mo \rightarrow {}^{99}Mo + p + n$ | 0.15 |
| | | $p + {}^{100}Mo \rightarrow {}^{99m}Tc + 2n$ | 0.20 |

Ontleend aan: van der Marck, Koning and Charlton, The options for the future production of the medical Isotope 99Mo, Europe Journal of Med Mol Imaging, 37:1817-1820 (2010)

# Reactor-produced Mo-99/Tc-99m




Possible Tc-impurities are blocked, only Tc-99 from Mo-99 decay

# Tc-99m production via Mo-100(p,2n)

| Z | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | N |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 97Ru<br>2.9 D<br>ε: 100.00% | 98Ru<br>STABLE<br>1.87% | 99Ru<br>STABLE<br>12.76% | 100Ru<br>STABLE<br>12.60% | 101Ru<br>STABLE<br>17.06% | 102Ru<br>STABLE<br>31.55% | 103Ru<br>39.26 D<br>β-: 100.00% | 104Ru<br>STABLE<br>18.62% | 105Ru<br>4.44 H<br>β-: 100.00% |
| 43 | 96Tc<br>4.28 D<br>ε: 100.00% | 97Tc<br>4.21E+6 Y<br>ε: 100.00% | 98Tc<br>4.2E+6 Y<br>β-: 100.00% | 99Tc<br>2.111E+5 Y<br>β-: 100.00% | 100Tc<br>15.46 S<br>β-: 100.00%<br>ε: 1.8E-3% | 101Tc<br>14.22 M<br>β-: 100.00% | 102Tc<br>5.28 S<br>β-: 100.00% | 103Tc<br>54.2 S<br>β-: 100.00% | 104Tc<br>18.3 M<br>β-: 100.00% |
| 42 | 95Mo<br>STABLE<br>15.92% | 96Mo<br>STABLE<br>16.68% | 97Mo<br>STABLE<br>9.55% | 98Mo<br>STABLE<br>24.13% | 99Mo<br>65.94 H<br>β-: 100.00% | 100Mo<br>7.3E+18 Y<br>9.63%<br>β-: 100.00% | 101Mo<br>14.61 M<br>β-: 100.00% | 102Mo<br>11.3 M<br>β-: 100.00% | 103Mo<br>67.5 S<br>β-: 100.00% |
| 41 | 94Nb<br>2.03E+4 Y<br>β-: 100.00% | 95Nb<br>34.991 D<br>β-: 100.00% | 96Nb<br>23.35 H<br>β-: 100.00% | 97Nb<br>72.1 M<br>β-: 100.00% | 98Nb<br>2.86 S<br>β-: 100.00% | 99Nb<br>15.0 S<br>β-: 100.00% | 100Nb<br>1.5 S<br>β-: 100.00% | 101Nb<br>7.1 S<br>β-: 100.00% | 102Nb<br>1.3 S<br>β-: 100.00% |
| 40 | 93Zr<br>1.53E+6 Y<br>β-: 100.00% | 94Zr<br>STABLE<br>17.38% | 95Zr<br>64.032 D<br>β-: 100.00% | 96Zr<br>2.0E+19 Y<br>2.80%<br>2β-: 100.00% | 97Zr<br>16.744 H<br>β-: 100.00% | 98Zr<br>30.7 S<br>β-: 100.00% | 99Zr<br>2.1 S<br>β-: 100.00% | 100Zr<br>7.1 S<br>β-: 100.00% | 101Zr<br>2.3 S<br>β-: 100.00% |

Extra Tc-impurities if target not enriched

# Tc-99m zuiverheid

- **Reactor**: fractional decay of Mo-99 (66 hours):
  - 0.78 to Tc-99m
  - 0.22 to Tc-99g

- **Accelerator**: fraction for Mo-100(p,2n)Tc-99 :
  - 0.22 (+- 0.05) to Tc-99m
  - 0.78 (+- 0.05) to Tc-99g

  for 100% enriched Mo-100 target
  - Natural Mo target: fraction of 0.03 to Tc-99m, 0.97 to Tc-99g + other Tc-isotopes
  - Depending on Mo-100 enrichment: Tc-99m fraction between 0.03 and 0.22

Two important questions (not answered here):

1. Which purity of Tc-99m (tau = 6 hours) is still acceptable for medical treatment (processing and logistics issue)?
2. What are the Mo-100 enrichment costs to satisfy the answer of question 1?

# Pallas - Toepassingen van nucleaire technologie

in de gezondheidszorg

en energievoorziening

**Neutronen:**

Voor de productie van medische isotopen en nucleair technologisch onderzoek

**Warmte:**

Voor de opwekking van elektriciteit en de productie waterstof


23

# Hoe ziet PALLAS er straks uit?

of zo?

of zo?

## Of misschien toch anders?


24

# Status: PALLAS project 2011

Projectteam operationeel

Specificatie beschikbaar

Review n.a.v. Fukushima in uitvoering

EPC-contract beschikbaar

MER/KEW procedure loopt

Projectmanagementsysteem gereed

Financiering heel hard noodzakelijk

De organisatie van het PALLAS project is klaar om PALLAS aan te gaan besteden.


25

# Projectplanning PALLAS

- 2011: financiering en aanbesteding
- 2012 – 2015: ontwerpen en vergunnen
- 2015 – 2018: bouwen en installeren
- 2019: testen en in bedrijfstellen
- 2020: commerciële productie

# Conclusie

- Wereldwijd 30 Miljoen behandelingen/jaar met Mo-99
- Leveringsketen van reactorisotopen is kwetsbaar
- Ten einde leveringszekerheid te verbeteren:
  - Nieuwe reactoren
  - Versterking processing faciliteiten
  - Geintegreerde continentale netwerken
- Er zal er geïnvesteerd moeten worden in nieuwe reactoren
- Frankrijk bouwt de Jules Horowitz reactor als opvolger voor OSIRIS
- NRG maakt zich sterk voor PALLAS als opvolger voor de HFR