



Woudschoten Natuurkundeconferentie

17 december 2005

ir. Paul G.T. de Jong
Algemeen directeur
Urenco Nederland B.V.

Inhoud van de presentatie

- Visie en missie Urenco
- De nucleaire brandstof cyclus
- Scheidingsmethoden voor isotopen
- Het principe van de ultracentrifuge
- De Urenco-groep
- Vragen?

Visie & missie Urenco-groep

urencO

URENCO PROPRIETARY

- Onze visie is dat in de toekomst kernenergie nodig is om de wereld te blijven voorzien van “sustainable energy”.
- Duurzame energie die onze kleinkinderen niet met onoplosbare problemen (zoals global warming en uitputting van natuurlijke hulpbronnen) opzadelt.
- Onze missie is “Enriching the Future”, door het wereldwijd aanbieden van onze nucleaire producten, diensten en technologie t.b.v. vreedzame toepassing van kernenergie.

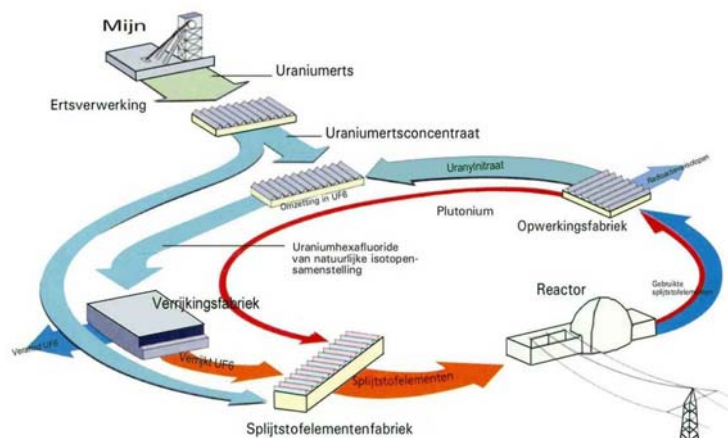
Paul de Jong/Woudschoten/17 december 2005

3

De splijstofkringloop

urencO

URENCO PROPRIETARY



Paul de Jong/Woudschoten/17 december 2005

4

Uraniumwinning

urencO

URENCO PROPRIETARY

- Uranium is een metaal dat als oxide in erts (en zeewater) voorkomt
- Natuurlijk uranium bestaat uit twee isotopen ^{235}U (0,7%) en ^{238}U (99,3%)
- Uraniumerts wordt o.a. gewonnen in Canada, Australië, Kazachstan, Brazilië, Zuid-Afrika, Namibië etc.
- Er is, bij huidig verbruik in conventionele kerncentrales voldoende voor 50 jaar tegen 0,1 ct/kWh en voor 500 jaar tegen 0,2 ct/kWh
- Indien kweekreactoren gebruikt worden, is er voldoende uranium voor 50.000 jaar
- Bij winning uit zeewater zelfs voor 6 miljoen jaar productie van elektriciteit!



Ondergrondse uraniumertswinning door Cameco in de McArthur River mijn Canada

Paul de Jong/Woudschoten/17 december 2005

5

Omzetting van uraniumerts in uraniumhexafluoride UF_6

urencO

URENCO PROPRIETARY

- Het uraniumoxide U_3O_8 wordt uit erts gewonnen en via UO_2 en UF_4 omgezet in UF_6
- UF_6 heeft een acceptabele dampspanning en van Fluor bestaat maar één isotoop
- Containers worden gevuld met UF_6 , in deze containers heerst onderdruk en is UF_6 een witte vaste stof
- Conversiefabrieken staan in Canada, VS, UK, Frankrijk, Rusland, China en Japan



Port Hope conversieplant



UF_6 -container

Paul de Jong/Woudschoten/17 december 2005

6

Uraniumverrijking

urencO

URENCO PROPRIETARY

- Uraniumverrijking is een noodzakelijk stap in het productieproces van brandstof voor de meeste kerncentrales
- In dit proces wordt de concentratie ^{235}U in uranium verhoogd (verrijkt) t.o.v. de concentratie ^{238}U
- Verrijking is het scheiden van isotopen op atomaire schaal
- Naast het scheiden van uranium-isotopen kunnen ook andere isotopen, bijv. voor medische toepassingen, gescheiden worden



Uraniumverrijking met ultracentrifuges

Paul de Jong/Woudschoten/17 december 2005

7

Fabricage splijtstofelementen

urencO

URENCO PROPRIETARY

- Het verrijkte UF_6 gaat naar een splijtstofelementenfabriek
- Het UF_6 wordt chemisch omgezet naar UO_2 -poeder
- Van dit poeder worden pellets geperst, gesinterd en opgesloten in een bundel van metalen buizen
- Splijtstofelementen fabricage Framatome, Global Nuclear Fuel, Westinghouse en TVEL



Uraniumpoeder, brandstofpellets en detail van een brandstofbundel

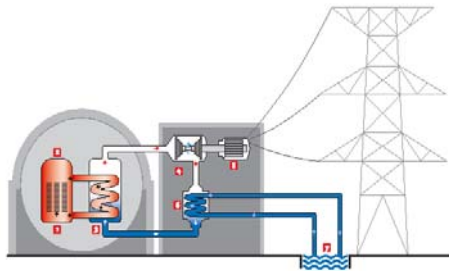
Paul de Jong/Woudschoten/17 december 2005

8

De werking van een kerncentrale

urencO

URENCO PROPRIETARY



- De brandstofstaven worden naar de kerncentrale getransporteerd
- Door in een kerncentrale voldoende brandstofstaven (massa U) bijeen te brengen wordt de reactor kritisch
- De ^{235}U kern wordt door impact van een neutron gesplitst waarbij warmte én neutronen vrijkomen
- De warmte zet water om in stoom
- Stoom drijft een turbine aan en de turbine de elektrische generator

Paul de Jong/Woudschoten/17 december 2005

9

Opwerken van splijtstofelementen

urencO

URENCO PROPRIETARY

- Na circa vier jaar moeten de splijtstofelementen vervangen worden
- Ze worden uit de reactor verwijderd en onder water opgeslagen
- In een opwerkingsfabriek wordt het radioactieve afval gescheiden van plutonium en uranium (1% ^{235}U)
- Van plutonium kan MOX-brandstof gemaakt worden
- Het uranium wordt weer verrijkt
- Er moet voorkomen worden dat radioactief afval (splijttingsproducten en Actiniden) ongecontroleerd in het leefmilieu terechtkomt



BNFL Thorp Reprocessing Plant in Sellafield United Kingdom

Paul de Jong/Woudschoten/17 december 2005

10

Opslag van radioactief afval

urencO

URENCO PROPRIETARY

- De kerncentrale “Borssele” genereert 1,3 m³ hoog radioactief afval per jaar
- Indien een mens in zijn leven uitsluitend nucleair opgewekte elektriciteit zou gebruiken, genereert hij in zijn leven een kubusje van 6 cm x 6 cm x 6 cm
- Omdat RA-afval compact is, is het mogelijk dit strikt van het leefmilieu te scheiden. In Nederland gebeurt dat bij de Covra in Vlissingen

COVRA: “Over radioactief afval kan lang gediscussieerd worden. Er kan tegen gedemonstreerd worden. Het afval kan ook veilig en verantwoord worden opgeruimd!”



Paul de Jong/Woudschoten/17 december 2005

11

Status kernenergie wereldwijd

urencO

URENCO PROPRIETARY

- In de wereld zijn 441 centrales in bedrijf (maart 2005) en in 2004 zijn 5 centrales in bedrijf genomen
- De productie uit bestaande centrales is significant (33 grote centrales) toegenomen
- In de EU wordt meer dan 30% van de stroom nucleair opgewekt
- Er zijn 25 kernreactoren in aanbouw, één EPR in Finland
- Frankrijk start binnenkort met de bouw van een EPR en gaat vanaf 2020 alle kernreactoren vervangen



EPR Olkiluoto-3 (1600 MWe) Finland

Paul de Jong/Woudschoten/17 december 2005

12

De toekomst van kernenergie

urencO

URENCO PROPRIETARY

- Met de groeiende welvaart in de wereld zal de vraag naar elektriciteit alleen maar toenemen
- Alle beschikbare vormen van elektriciteitsopwekking zijn nodig om aan de toekomstige elektriciteitsbehoefte te kunnen voldoen!
- We kunnen ons het dogmatisch uitsluiten van een optie niet veroorloven!
- Kernenergie is een methode om economisch en milieuvriendelijk (CO₂-arm) elektriciteit op te wekken

Om aan de toenemende vraag van elektriciteit op een voor het milieu acceptabele manier tegemoet te komen, is kernenergie onmisbaar!

Paul de Jong/Woudschoten/17 december 2005

13

Methoden voor het scheiden van isotopen

urencO

URENCO PROPRIETARY

- Thermische diffusie
- Tegenstroom-elektrolyse
- Destillatie
- Laserscheiding
 - atomair
 - moleculair
- Elektromagnetisch
- Gasdiffusie
- Gascentrifuge

Paul de Jong/Woudschoten/17 december 2005

14

Tegenstroom-elektrolyse: Brewer & Madorsky, 1947

urencO

URENCO PROPRIETARY

- Mobiliteit van lichte ionen iets groter dan van zware
- Breng een elektrolyt in oplossing
- Zet daarop een spanningsverschil
- De ionen worden naar een elektrode getrokken
- Laat de vloeistof continu tegenstromen met snelheid v
- Maak v gelijk aan de gemiddelde mobiliteit
- Lichte ionen gaan iets sneller dan v , de zware iets langzamer
- Netto transport van lichte/zware ionen naar kathode/anode
- Scheiding is afhankelijk van het relatief massaverschil en buitengewoon gering

Paul de Jong/Woudschoten/17 december 2005

15

Destillatiekolom

urencO

URENCO PROPRIETARY

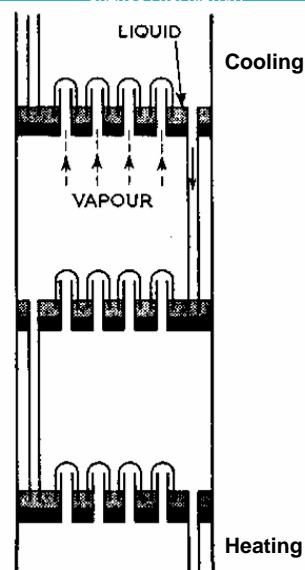
De scheidingsfactor over één schotel wordt bepaald door de verhouding van de dampdruk van de verschillende isotopen

H ₂ O	¹⁶ O/ ¹⁸ O	1.0065
BF ₃	¹⁰ B/ ¹¹ B	1.0065
NH ₃	¹⁴ N/ ¹⁵ N	1.0025

Voor UF₆ nog twee ordergrootten kleiner!

Alleen geschikt voor lichte isotopen zoals:

- H₂¹⁶O/H₂¹⁸O
- ¹⁰BF₃/¹¹BF₃



Paul de Jong/Woudschoten/17 december 2005

Atomaire scheiding met laser

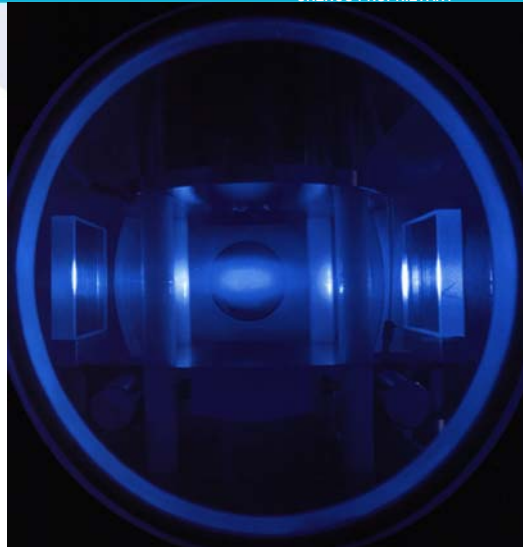
urencO

URENCO PROPRIETARY

- Specifieke excitatiefrequenties van isotopen verschillen
- Smal band lasers kunnen dus één isotoop selectief ioniseren
- De isotopen worden met een elektrisch veld gescheiden

Voordeel: Hoge selectiviteit

Nadelen: Lage opbrengst en complexe technologie (zeer hoge temperaturen en vervuiling door afzetting op relatief koude delen)



Paul de Jong/Woudschoten/17 december 2005

17

Elektromagnetische scheiding

urencO

URENCO PROPRIETARY

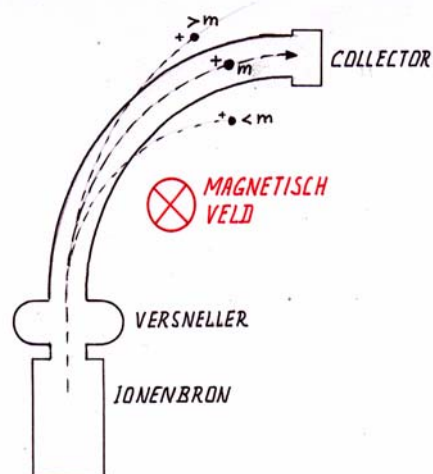
Calutron (1942-1945):

Vrijwel alle elementen mogelijk

- Hoge verrijkingsfactor: 10-50
- Hoog energieverbruik
- Zeer lage opbrengst

Verbruik bij 50 mA collectorstroom
100 kW en een opbrengst 0.2 mg/s

Alleen nog in gebruik voor bv. ^{203}Tl



Paul de Jong/Woudschoten/17 december 2005

18

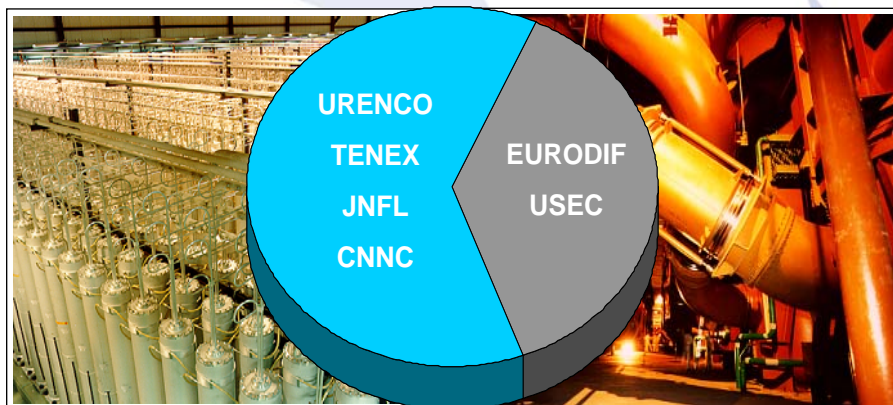
Gasdiffusie: Graham 1846

- Gemiddelde kinetische energie van zware en lichte moleculen is gelijk
$$\frac{1}{2} m_{\text{zwaar}} v_{\text{zwaar}}^2 = \frac{1}{2} m_{\text{licht}} v_{\text{licht}}^2$$
- Dus de snelheid van lichte moleculen is iets hoger dan die van zware
- Botsingen/seconde met de wand ~ snelheid molecule → lichte botsen meer!
- Kleine poriën met een diepte groter dan de diameter
- Diffusie door kleine poriën < gem. vrije weglengte $\lambda=0.02 \mu\text{m}$ voor UF_6

Nadelen:

- Geringe scheidingsfactor < de ideale = $\sqrt{m_1}/\sqrt{m_2} = 1.00429$ voor UF_6
- Hoge investeringskosten
- Hoog energieverbruik door drukverlies over de membranen

Commercieel toegepaste uranium verrijkmethode



Centrifuge technologie

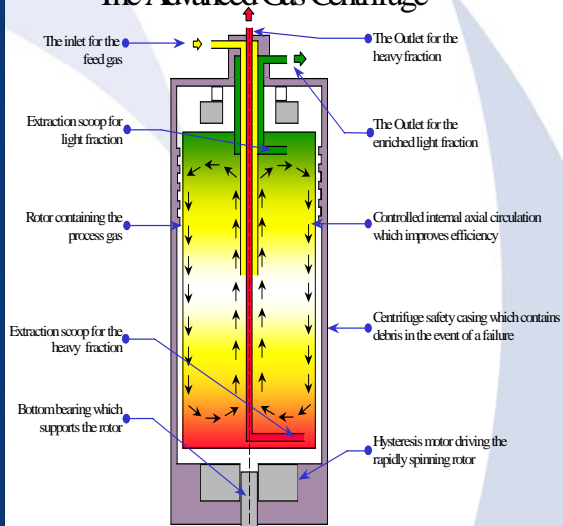
Diffusie technologie

Het principe van de ultracentrifuge

URENCO PROPRIETARY



The Advanced Gas Centrifuge



21

Fysica van de ultra-centrifuge

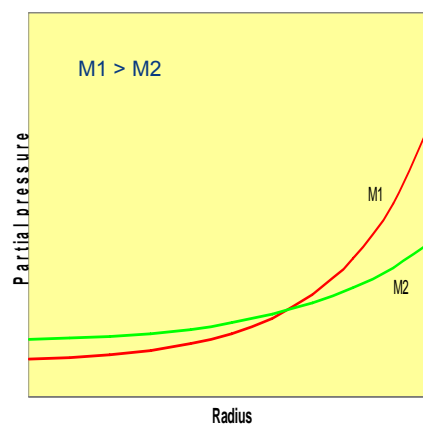
URENCO PROPRIETARY

$$\frac{(M1 - M2) r^2 \omega^2}{2 R T}$$

$$\frac{p1(r)}{p2(r)} = \frac{p1(0)}{p2(0)} e^{\frac{(M1 - M2) r^2 \omega^2}{2 R T}}$$

- Scheidingsfactor wordt bepaald door:
 - Absoluut massaverschil
 - Lengte en diameter van de rotor
 - Rotorfrequentie
- Preferente methode zware elementen
- Modulaire opbouw mogelijk
- Laag specifiek energieverbruik

Pressure distribution of two gases in ultracentrifuge

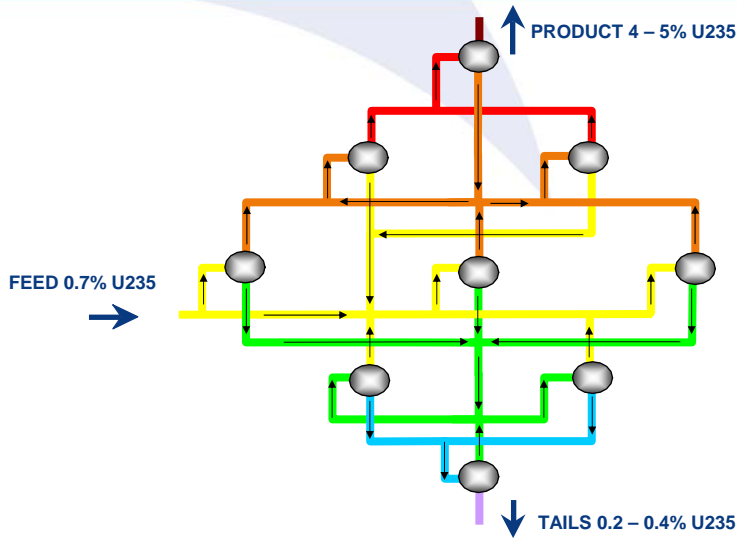


22

Flowdiagram van een centrifugecascade

ureenco

URENCO PROPRIETARY



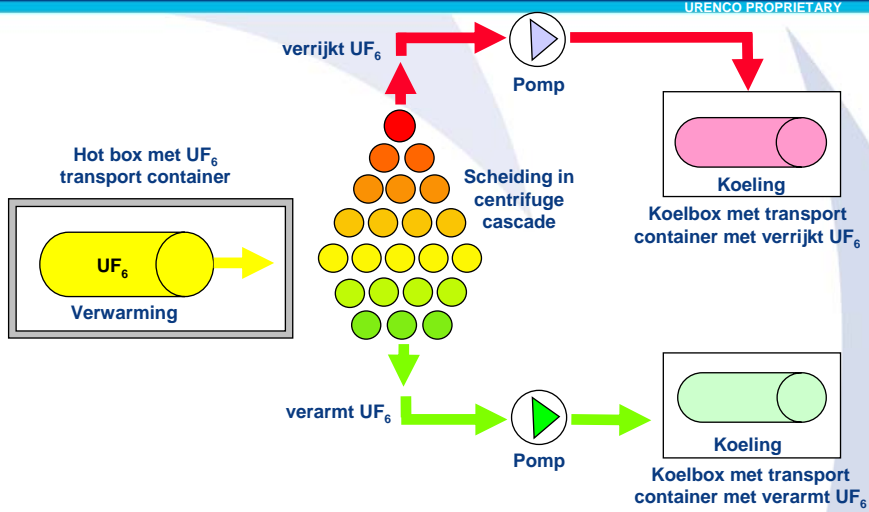
Paul de Jong/Woudschoten/17 december 2005

23

Schema van een verrijkingsfabriek

ureenco

URENCO PROPRIETARY



Paul de Jong/Woudschoten/17 december 2005

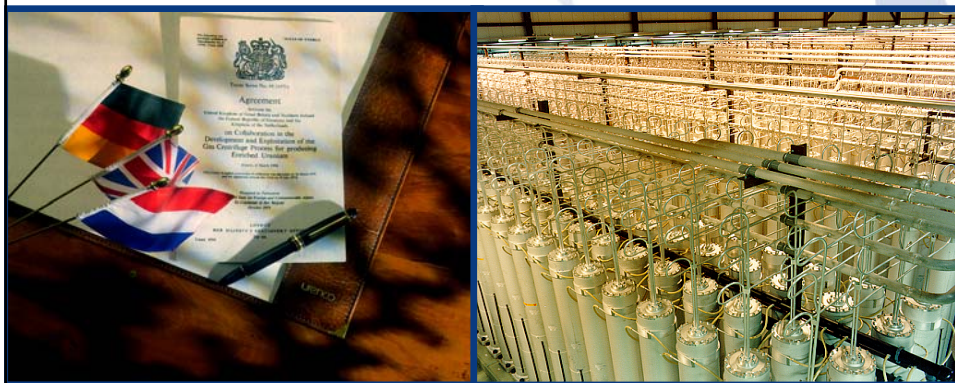
24

Verdrag van Almelo: 4 maart 1970

ureenco

URENCO PROPRIETARY

De regeringen van het Verenigd Koninkrijk, Duitsland en Nederland besloten samen te gaan werken bij de ontwikkeling en vreedzame toepassing van het gascentrifugeproces t.b.v. de productie van licht verrijkt uranium



De Urenco-groep

ureenco

URENCO PROPRIETARY

- Aandeelhouders: de Engelse (BNFL) en Nederlandse (UCN) regering en Duitse (RWE & EoN) elektriciteitsmaatschappijen
- ETC: centrifugeontwerp & bouw en realisatie van plants
- UEC: verrijkingsfabrieken in Gronau, Capenhurst en Almelo
- Groepsdirectie en marketing in Marlow Engeland

De Urenco-groep in Almelo:

High-tech winstgevende nucleaire industrie sinds de jaren 70

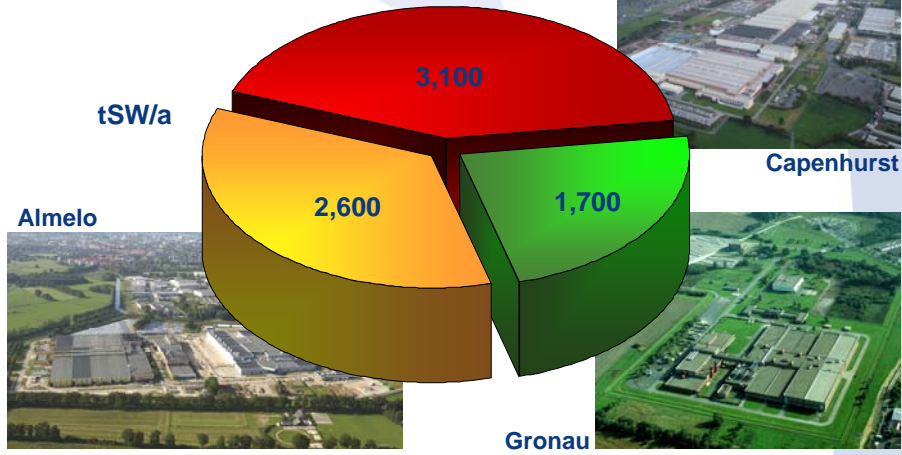
- Centrifugeproductie & aerospace
- Uraniumverrijking & medische en industriële isotopen
- Investerings > € 100 mln/jr & Omzet > € 400 mln/jr
- Directe werkgelegenheid voor ca. 750 medewerkers

Productiecapaciteit Urenco-fabrieken status eind 2004

urencO

URENCO PROPRIETARY

Totale capaciteit 7,400 tSW/a



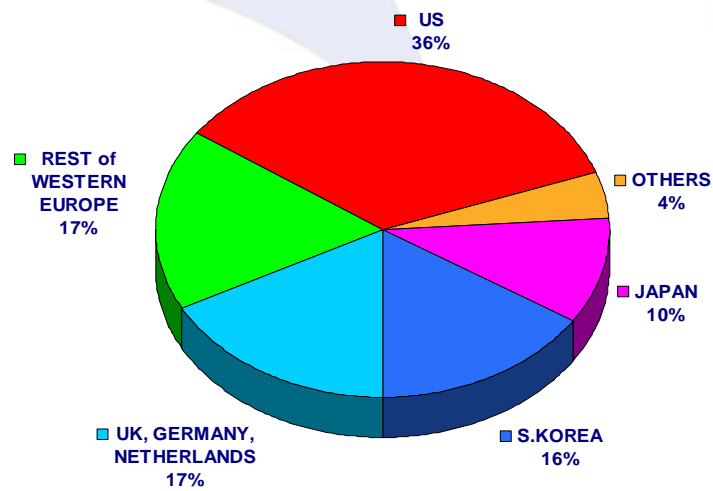
Paul de Jong/Woudschoten/17 december 2005

27

Geografische spreiding klanten

urencO

URENCO PROPRIETARY



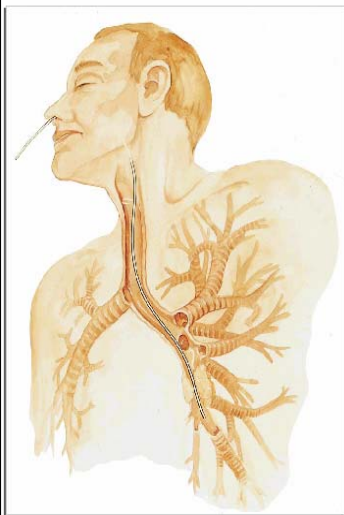
Paul de Jong/Woudschoten/17 december 2005

28

Stabiele Isotopen

urenco

URENCO PROPRIETARY



Behandeling van longtumoren met behulp van ^{192}Ir dat geproduceerd is uit door Urenco verrijkt ^{191}Ir

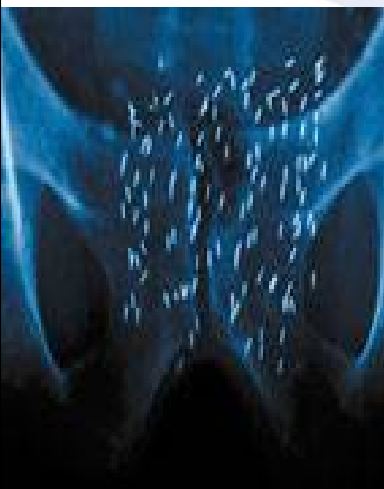
Paul de Jong/Woudschoten/17 december 2005

29

Stabiele Isotopen

urenco

URENCO PROPRIETARY



Behandeling van prostaatkanker met ^{125}I dat geproduceerd is uit bij Urenco verrijkt ^{124}Xe

Paul de Jong/Woudschoten/17 december 2005

30

Samenvatting

urencO

URENCO PROPRIETARY

Bij Urenco Nederland B.V. in Almelo wordt de ultracentrifuge-technologie toegepast om uranium en andere (medische) isotopen te verrijken.

In Almelo staat als resultaat van baanbrekend fysisch en technologisch onderzoek een marktgericht bedrijf waar Nederland trots op kan zijn!

Paul de Jong/Woudschoten/17 december 2005

31

