



Fisjon, kort historikk



Ida Noddack
(1896-1979)

Tidligste dokumenterte forslag:

I 1934 foreslo Ida Noddack (som fant Re) at urankjernen kunne spaltes under dannelse av lettere grunnstoffer. Tross at Noddack var en anerkjent forsker på dette tidspunktet, ble dette forslaget ikke fulgt opp, og Noddack fikk ingen betydning i den prosessen som skjedde 5-10 år senere.



Fisjon, kort historikk

- 1934 - Fermi bestråler uran med en nøytronkilde, og observerer et stort antall nye radionuklider, tolkes feilaktig som første bevis på transuraner
- 1938 - Hahn og Straßmann finner at "transuranene" i virkeligheten er isotoper av Ba, La o.l.
- 1939 - Meitner og Frisch forklarer dette med at kjernen deler seg i to like store deler, under avgivelse av nesten 200 MeV energi, når uran bestråles med termiske nøytroner
- 1939 - Frisch rapporterer sterkt ioniserende fragmenter



Fisjon, kort historikk

- 1939 - Nils Bohr og John A. Wheeler forklarer fenomenet teoretisk i enkle termer
- 1939 - Bohr forklarer at termisk fisjon kun skjer med ^{235}U og ikke ^{238}U
- 1939 - von Halban og Joliot, samt Szilard og Fermi, innser at nettovinsten av nøytroner kan gi en kjedereaksjon, og danne grunn for en reaktor
- 1940 - Seaborg, McMillan og Wahl oppdager Np og Pu, og finner at Pu er fisjonabelt
- 1942 - Enrico Fermi leder prosjektet med å bygge den første kjernereaktor, under tribunen på universitetsstadion i Chicago.

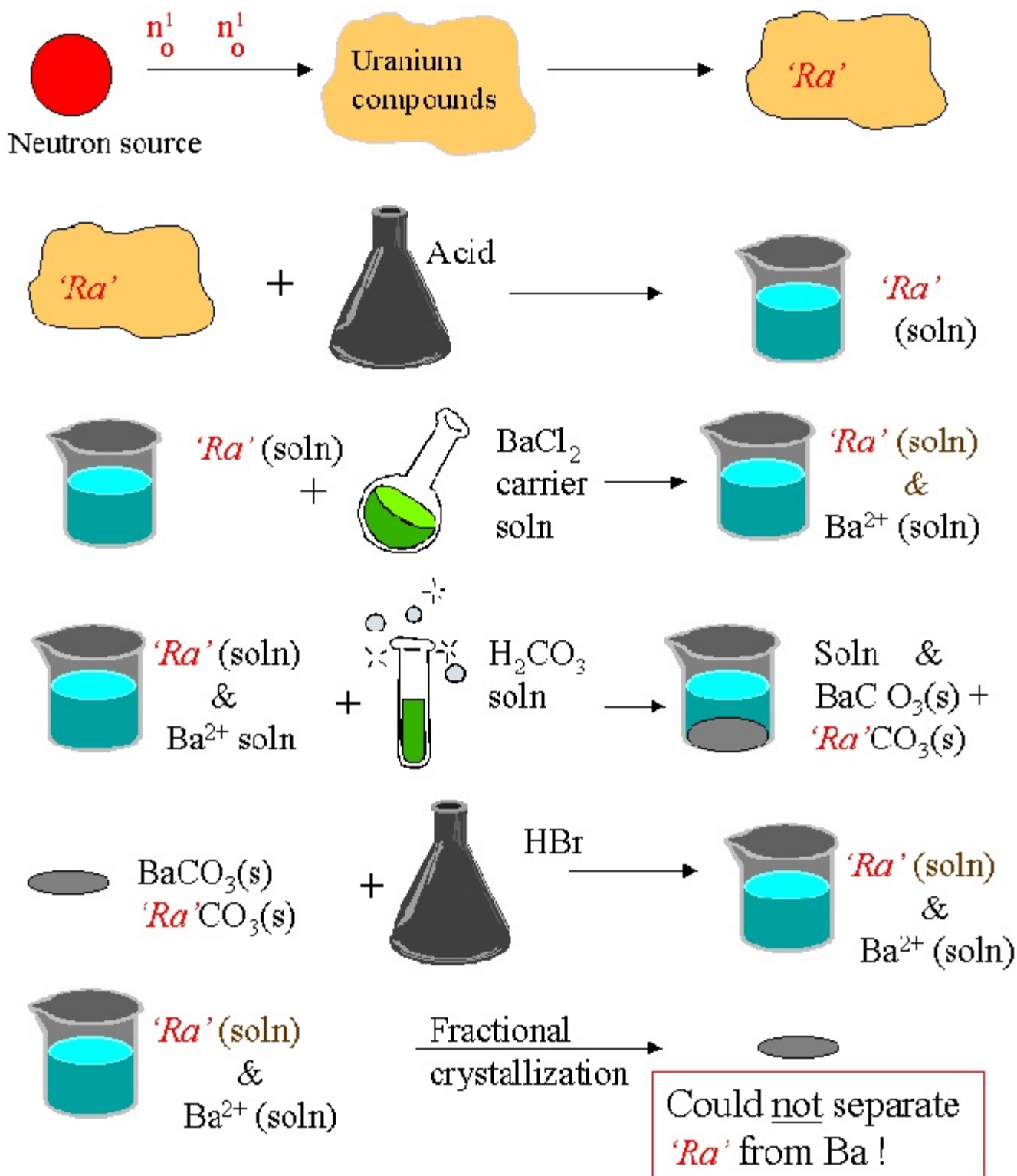


Fisjon, kort historikk

- 1940 - Flerov og Petrzhak oppdager spontan fisjon
- 1941-45. Manhattan-prosjektet leder til utviklingen av atombomben. To bomber tas i bruk mot Japan, en basert på isotopanrikt ^{235}U , en på reaktorprodusert ^{239}Pu .
- 1956 - Første sivile kjernekraftverk, Calder Hall i England
- 1960-1962 Utstrakt radioaktiv forurensning p.g.a. atmosfæriske bombep prøver
- 1963 - Avtale om stans i atmosfæriske prøvesprengninger (Moskva-avtalen)
- 1986 - Tsjernobyl-ulykken

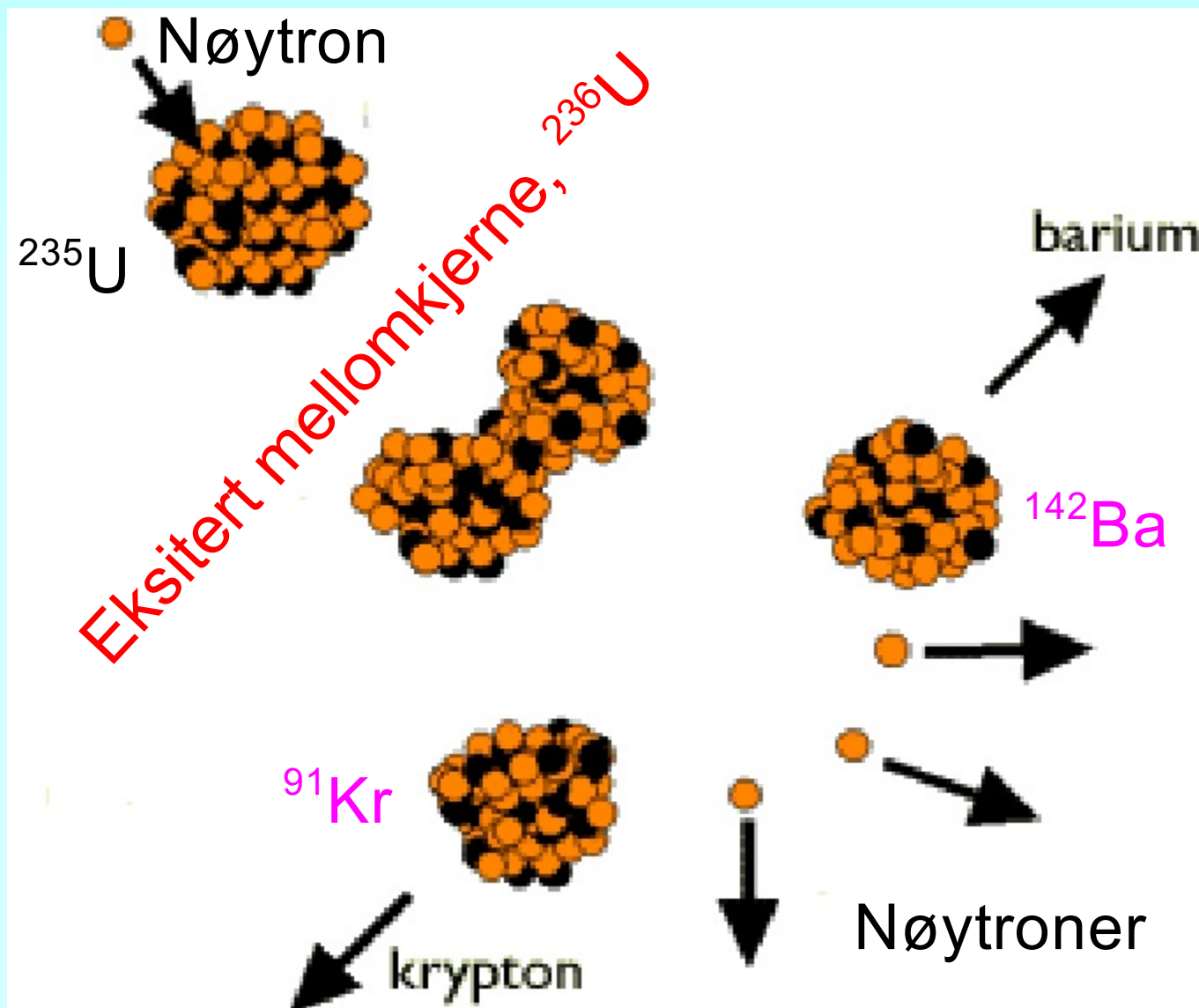


Hahn and Strassmann Chemical Discovery of Fission Berlin, December 1938





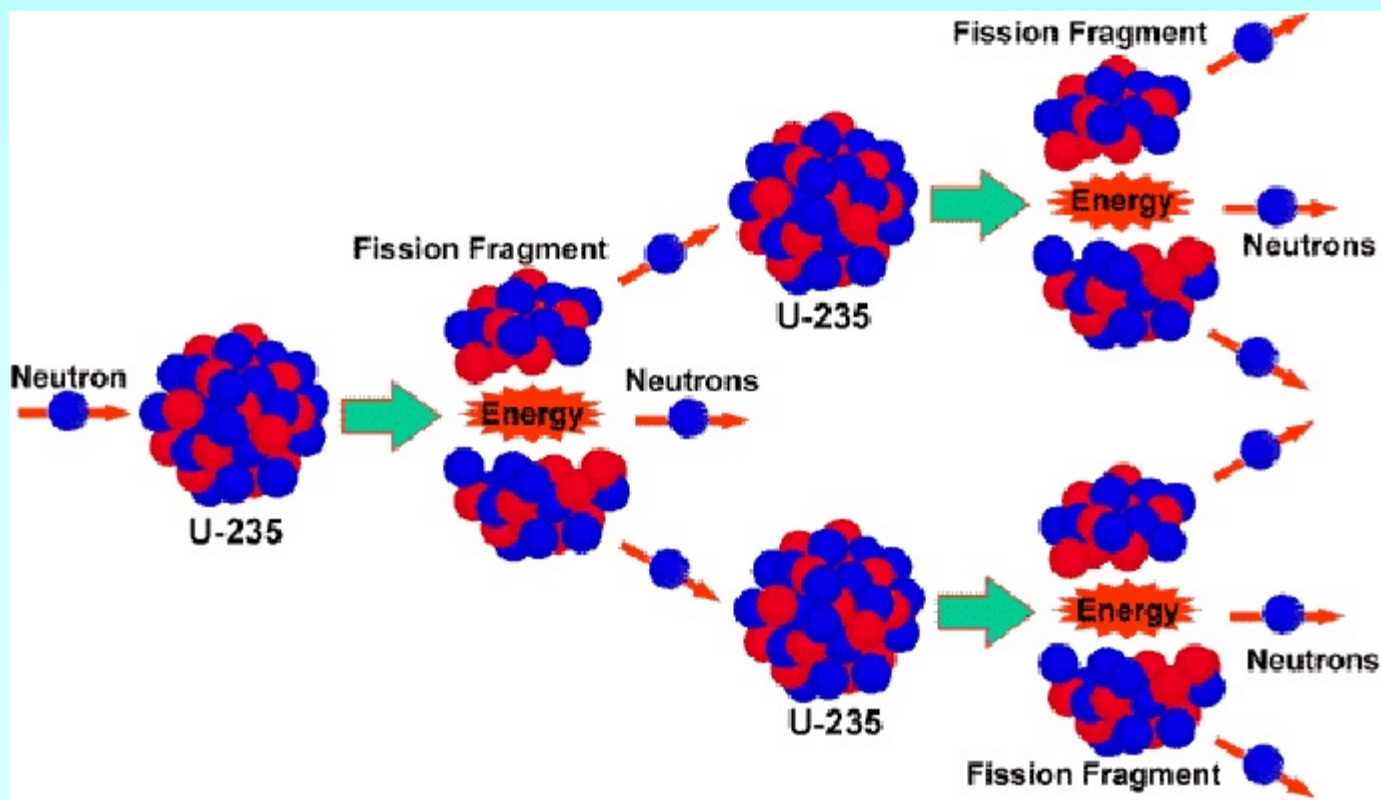
Nøytronindusert fisjon



Barium og krypton er eksempler på fisjonsprodukter som kan dannes når mellomkjernen sprekker opp.



Kjedereaksjon



- Fordi det produseres fler nøytroner enn det konsumeres i én enkelt fisjonshendelse, kan man få til en kjedereaksjon.
- Den første som erkjente dette, var antagelig Leo Szilard. Han sendte inn patentsøknad på slike kjedereaksjoner allerede i 1934.



Hvorfor får vi fisjon

Grunnen til at fisjon oppstår (indusert og spontan, er at coulombkreftene blir sterkere enn kjernekreftene i store kjerner. Et mål på dette er

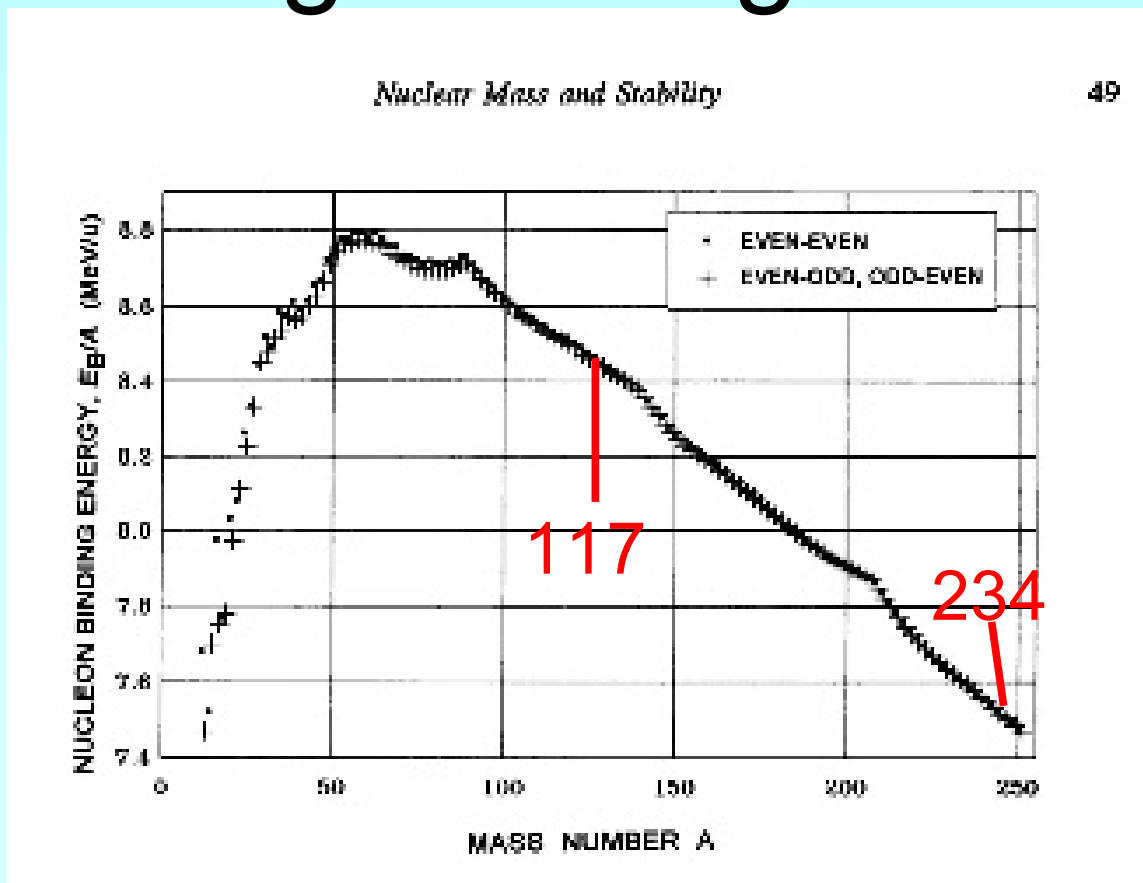
fisjonabiliteten:

$$Z^2/A$$

Rent energetisk er fisjon mulig overalt hvor man kan vinne energi ved å splitte opp en tung kjerne i to lettere, men coulomb-barrieren hindrer at dette skjer for lettere grunnstoffer enn uran.



Energiutvikling ved fisjon



Energidifferanse: ca. 0.9 MeV pr. Nukleon

Total energiutvikling pr.fisjonsprosess
blir da: $234 \times \sim 0.9 = 200 - 210$ MeV

**Ca 180 MeV ved fisjonen, resten
kommer forsinket, med β^- og γ**



Energiutvikling ved fisjon

Konsekvens: Restvarme-effekten

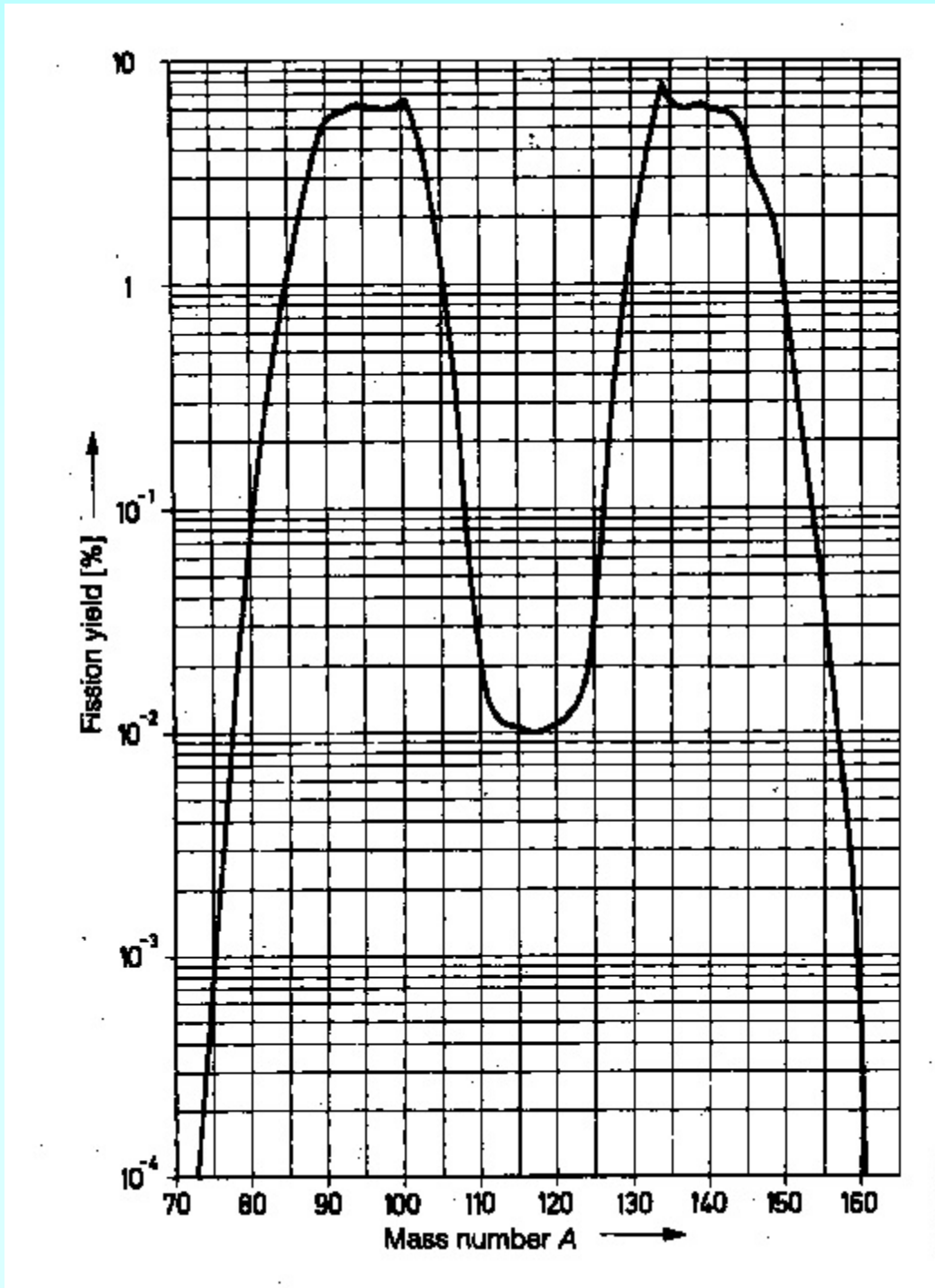
Reaktoren må kjøles også etter at den er avstengt, ellers vil varmeutviklingen fra fisjonsproduktene kunne medføre at uranbrenselet smelter, og lager hull i reaktortanken.

Det var dette som skjedde ved Harrisburg-ulykken i 1979. Omtrent 50 % av brenselet viste seg å være nedsmeltet, men det greide ikke å lage hull i reaktortanken.

Ulykken var det nest alvorligste uhell ved et kjernekraftverk noengang, men førte ikke til utslipp av betydning. Men hele situasjonen var ute av kontroll.



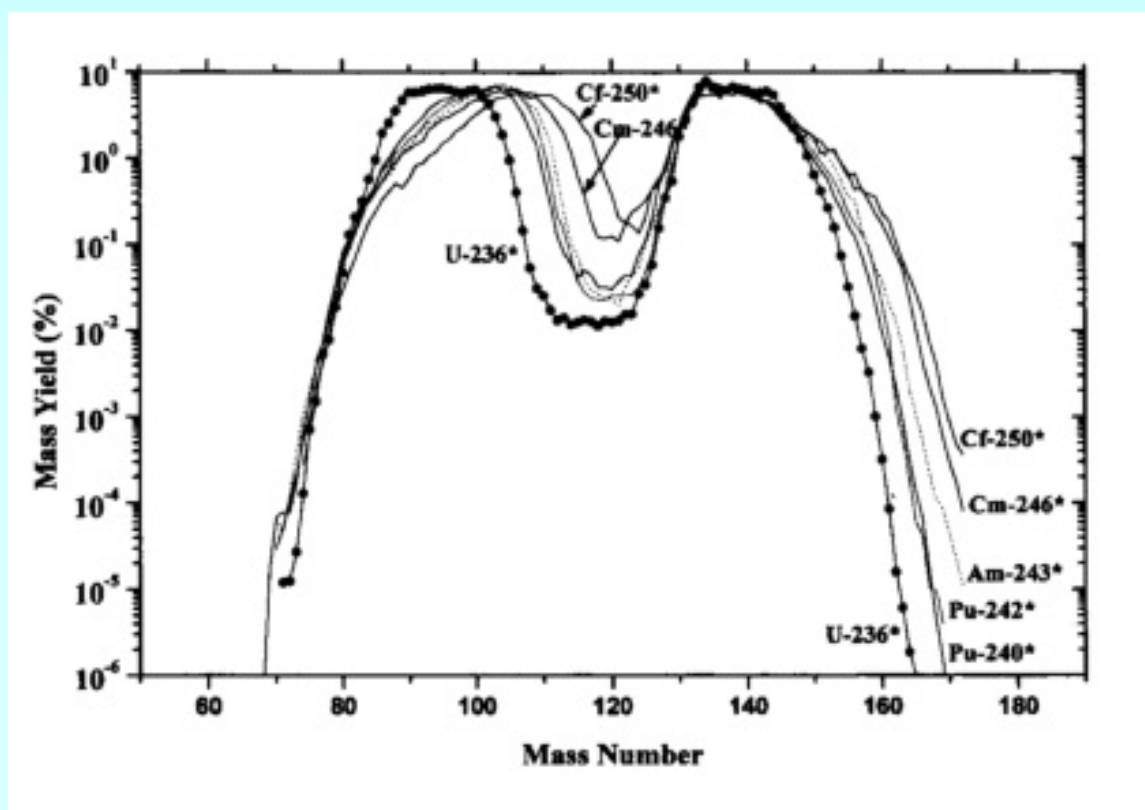
Fisjonsprosessen:



Utbyttekurven er asymmetrisk med et minimum for 117



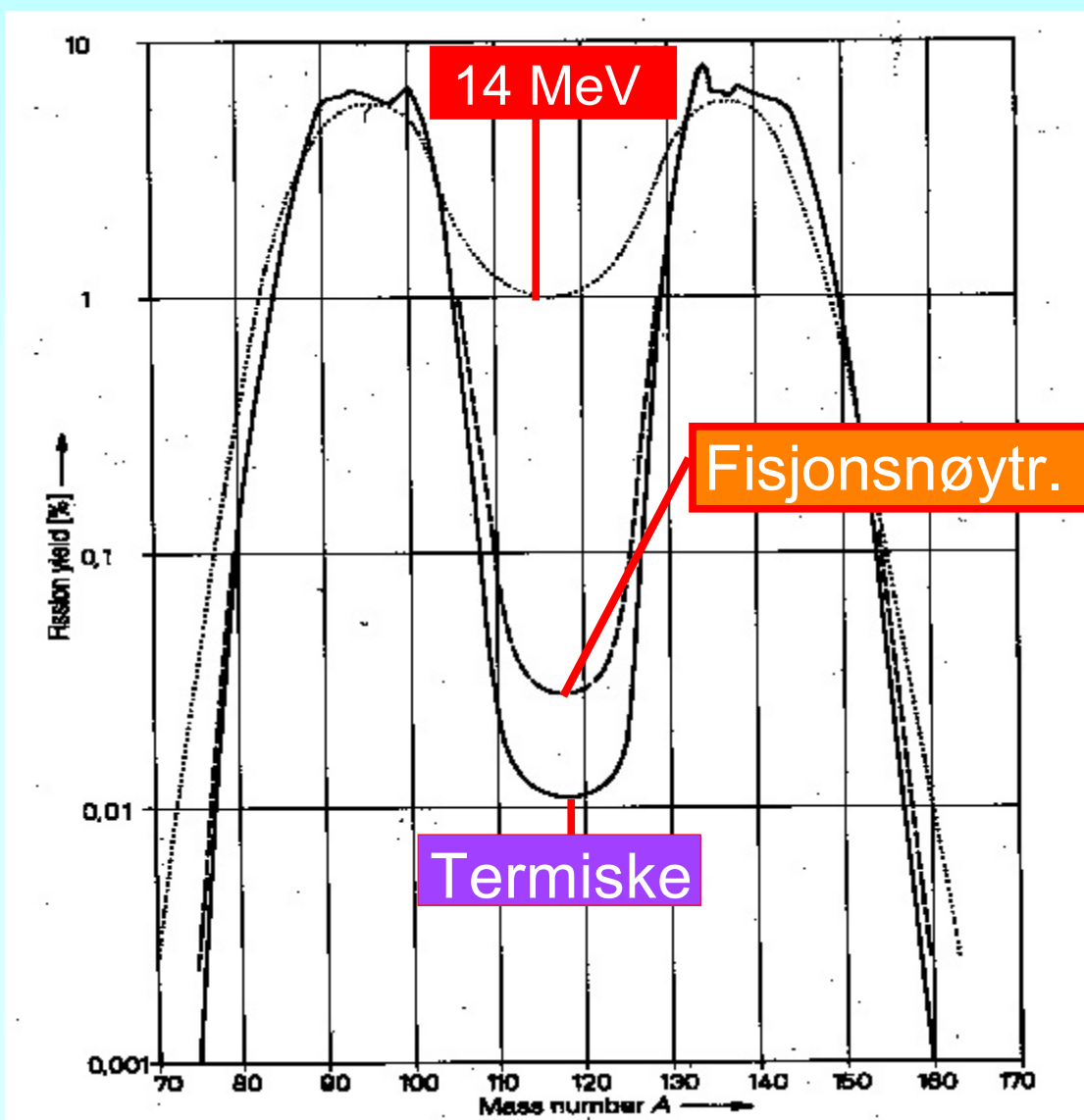
Fisjonsutbytte



Den nedre massetoppen går oppover når den fisjonerende massen øker, den øvre holder seg konstant.



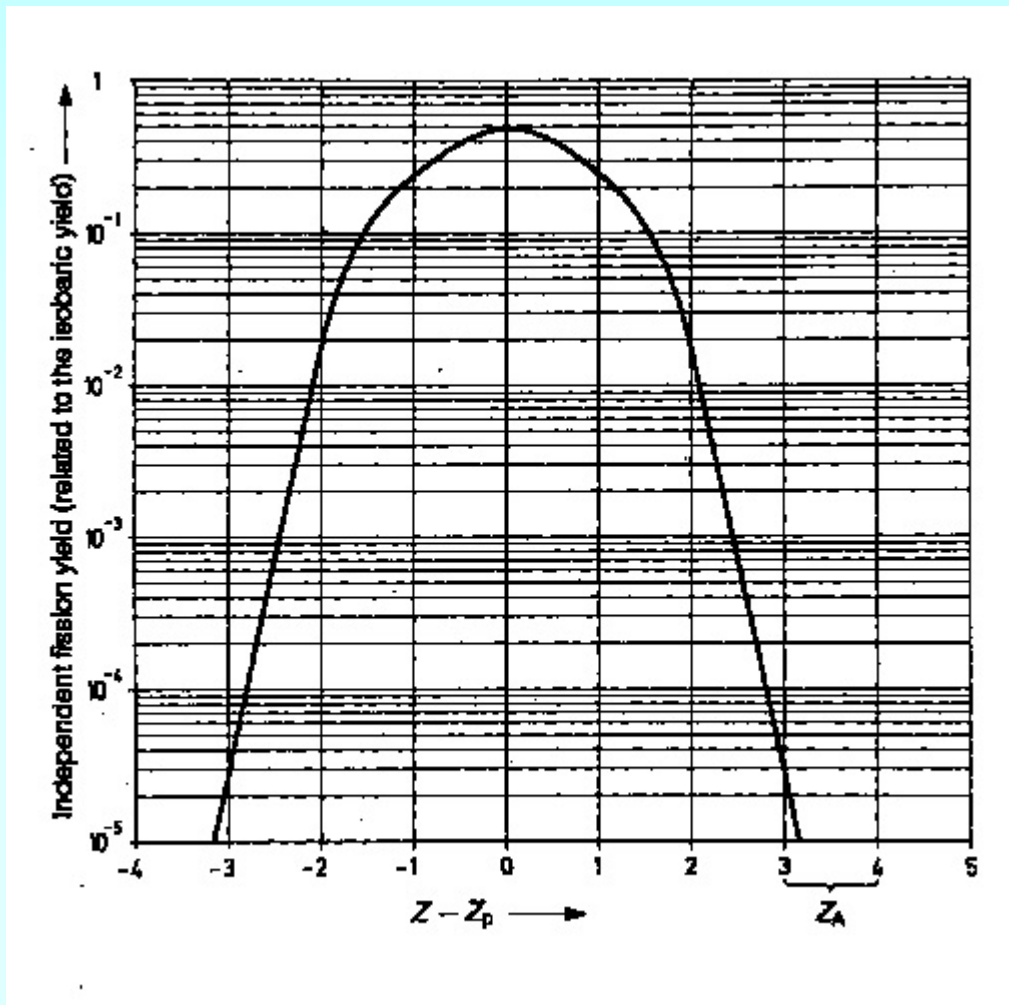
Energiavhengighet



Når energien på nøytronene øker, fylles “dalen” ved fisjon av ^{235}U



Ladningsfordeling ved termisk fisjon



Langs en enkelt isobar fordeler utbyttene seg som vist på denne kurven, med et maksimum i Z_p , som tilsvarer det proton/nøytron forhold man har i den fisjonerende kjernen



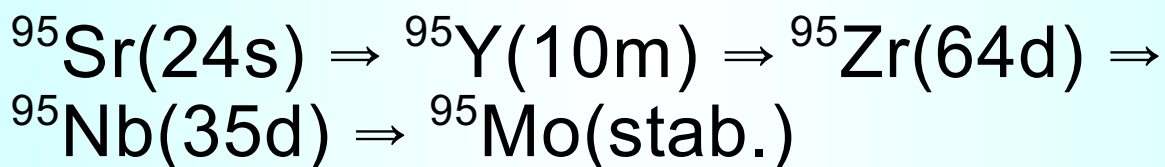
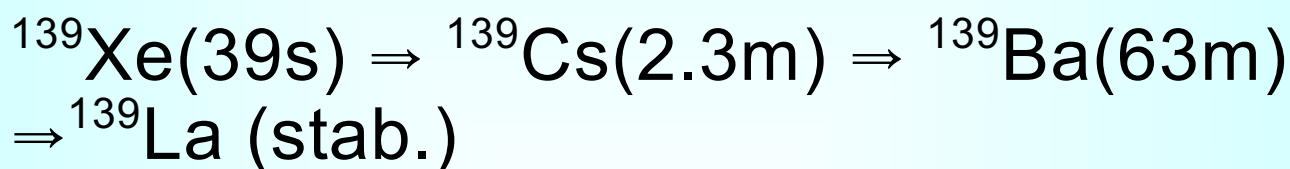
Fisjonsprodukter

Fisjonsproduktene er kjerner med et Z/A-forhold som omtrent tilsvarer ^{234}U :

For $A = 139$ blir dette $Z_p = 54$ (^{139}Xe)

For $A = 95$ blir dette $Z_p = 38$ (^{95}Sr)

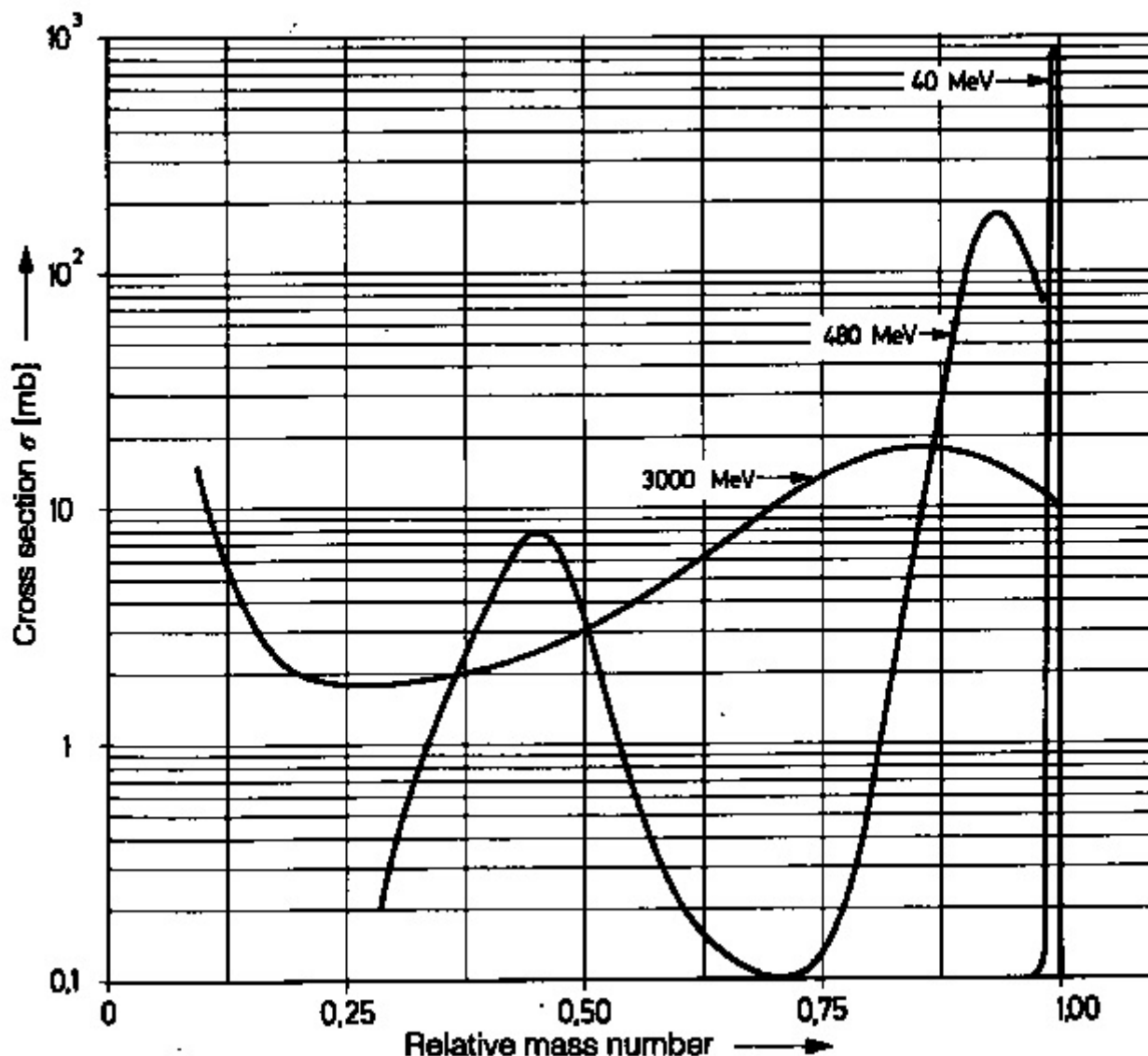
Man får da følgende sekvenser:



Man får altså et avfallsproblem langs isobarkjeden 95, men ikke langs 139



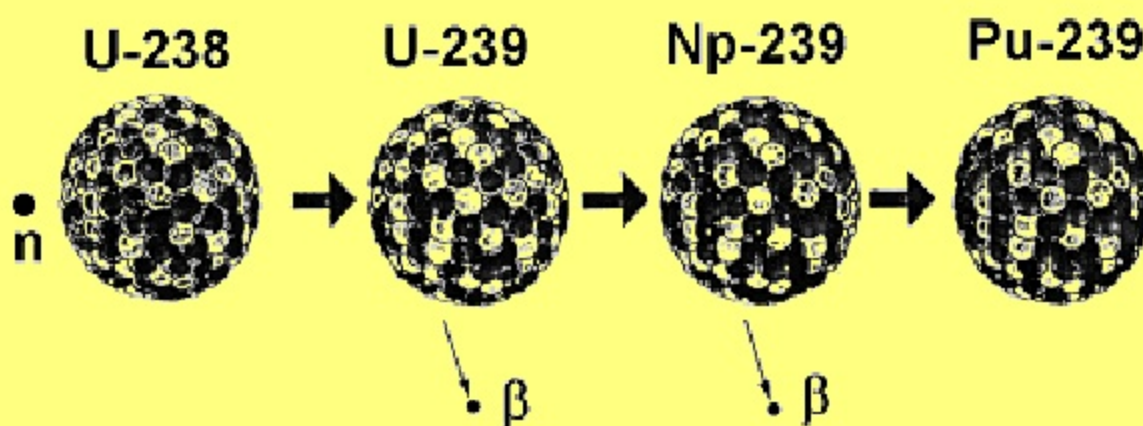
Protonreaksjoner - vismut



Ved energier opp til 100 MeV sees kun spallasjon. Over 100 MeV konkurrerer spallasjon og høyenergifisjon med hverandre



Transuraner



Nøytroninnfangning i ^{238}U med to påfølgende β -desintegrasjoner gir ^{239}Pu som angitt på figuren. Flere nøytroner vil fanges inn videre også, og gi dannelse av transuraner, i praksis helt opp til ^{252}Cf .



Transuraner



De fem oksidasjonstrinnene for Pu i vandig løsning (noe for grunnkurslabben i uorganisk kjemi.....?)



Prinsipp for reaktor

Det finnes mange ulike typer kjernekraftverk, fra ordinære sivile kraftverk til ubåtreaktorer med helt spesiell funksjon.

Generelt må konstruksjonen være slik at det er mulig å bringe fisjonsprosessen kritisk, samtidig med at den må kunne kontrolleres. Dette gjøres ved hjelp av **kontrollstaver** konstruert av et materiale med høy evne til å fange inn nøytroner, d.v.s. som har høy σ_{termisk} , **vanligvis Cd eller B (i form av borkarbid)**

Nesten alle (men ikke alle) reaktorer er basert på termisk fisjon.



- **Konsekvenser:**
 - Man må ha en moderator, som bremser ned nøytronene uten å absorbere dem
 - Man må ha kritisk mengde fissilt materiale (^{235}U , ^{233}U , ^{239}Pu)
 - Man må ha styre-staver med høy σ for å kontrollere prosessen
 - Produsert energi må fraktes vekk
-
- Konstruksjonen må være slik at det blir ett nøytron tilgjengelig for en ny fisjon etter hver fisjon (kritikalitet)
 - Prosessen må kunne styres, skjer ved forsinkede nøytroner
 - Nøytronene må kunne bremses ned, normalt til termiske energier



Energiutvikling

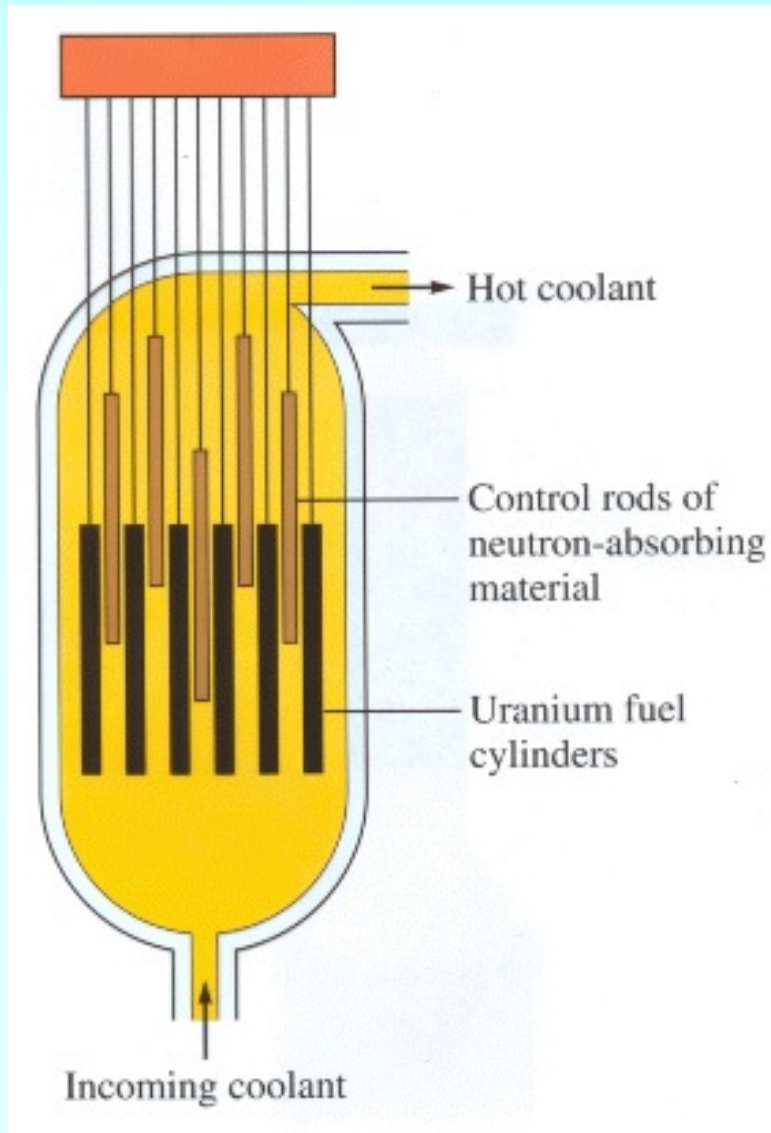
$$\text{Ett kg } ^{235}\text{U} = (1000/235) \cdot 6.02 \cdot 10^{23} \text{ atomer} \\ = 2.6 \cdot 10^{24} \text{ atomer } ^{235}\text{U}$$

$$\text{Frigitt energi: } 2.6 \cdot 10^{24} \cdot 200 \text{ MeV} \\ = 5.1 \cdot 10^{26} \text{ MeV} = (5.1 \cdot 10^{26} \cdot 1.6 \cdot 10^{-13}) \text{ J} \\ = \mathbf{8.2 \cdot 10^{13} \text{ J}}$$

Hvis denne mengden utvikles pr.dag, utvikles det $9.5 \cdot 10^8 \text{ J}$ pr.sekund fra fisjon, hvilket innebærer at reaktoren har en effekt på **950 MW termisk**, som er et typisk mindre kjernekraftverk

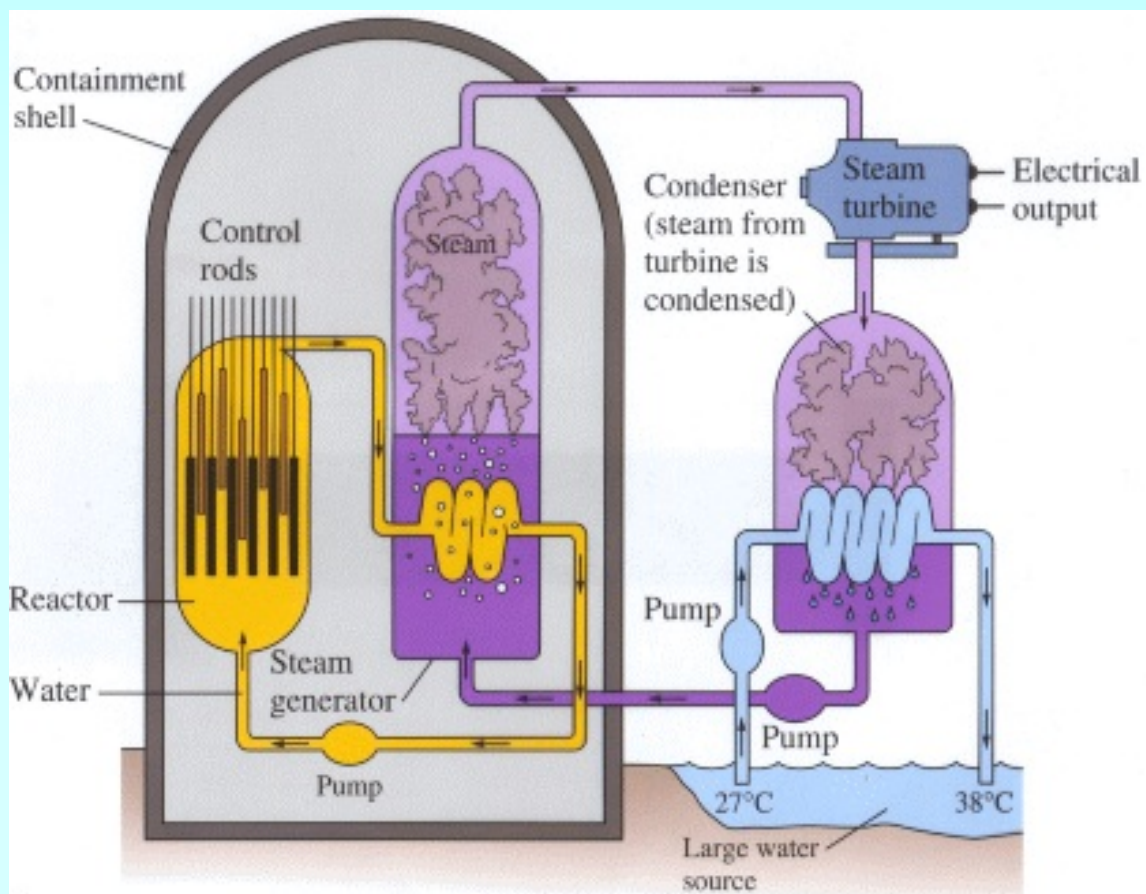
Elektrisitetsproduksjonen blir selvsagt lavere, avhengig av hvor effektiv overføringen er (ren termodynamikk)

Reaktortyper - trykkvann



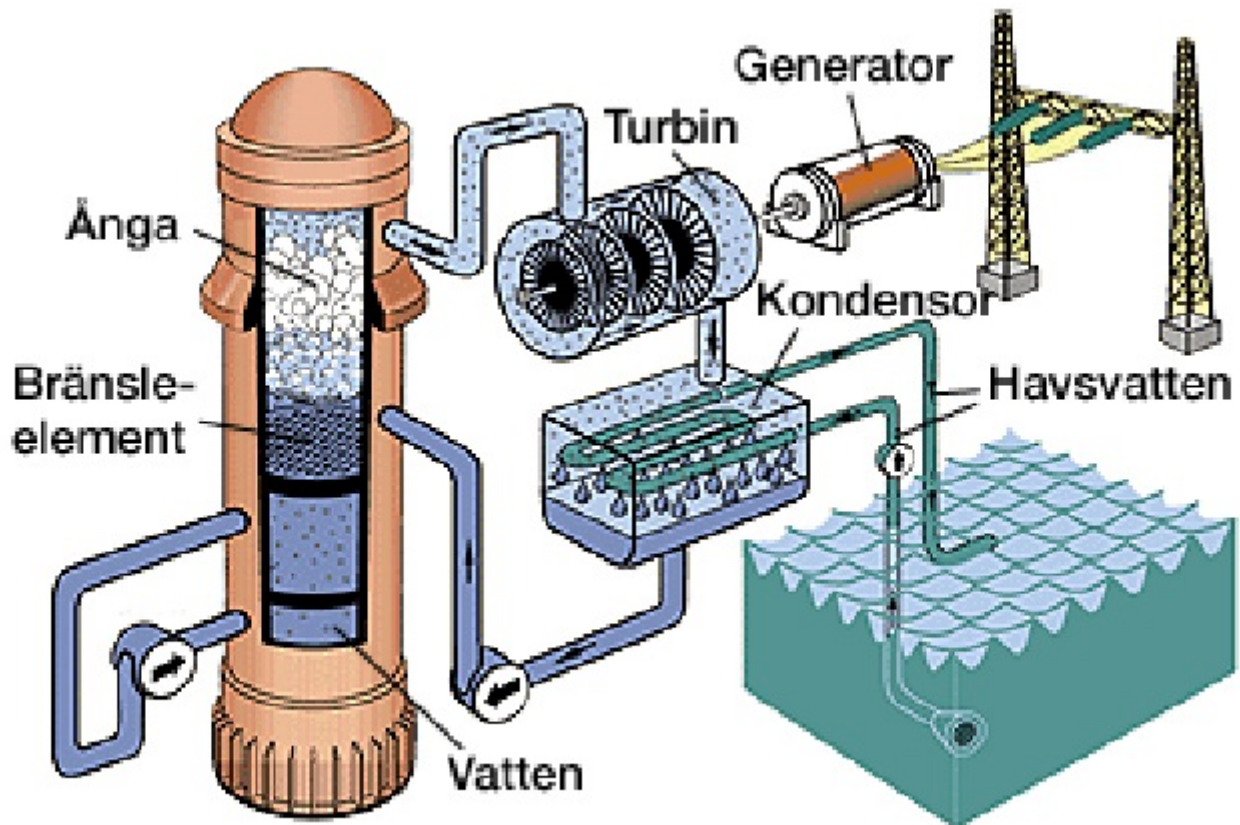
Prinsippskisse av trykkvannsreaktor

Reaktortyper - trykkvann



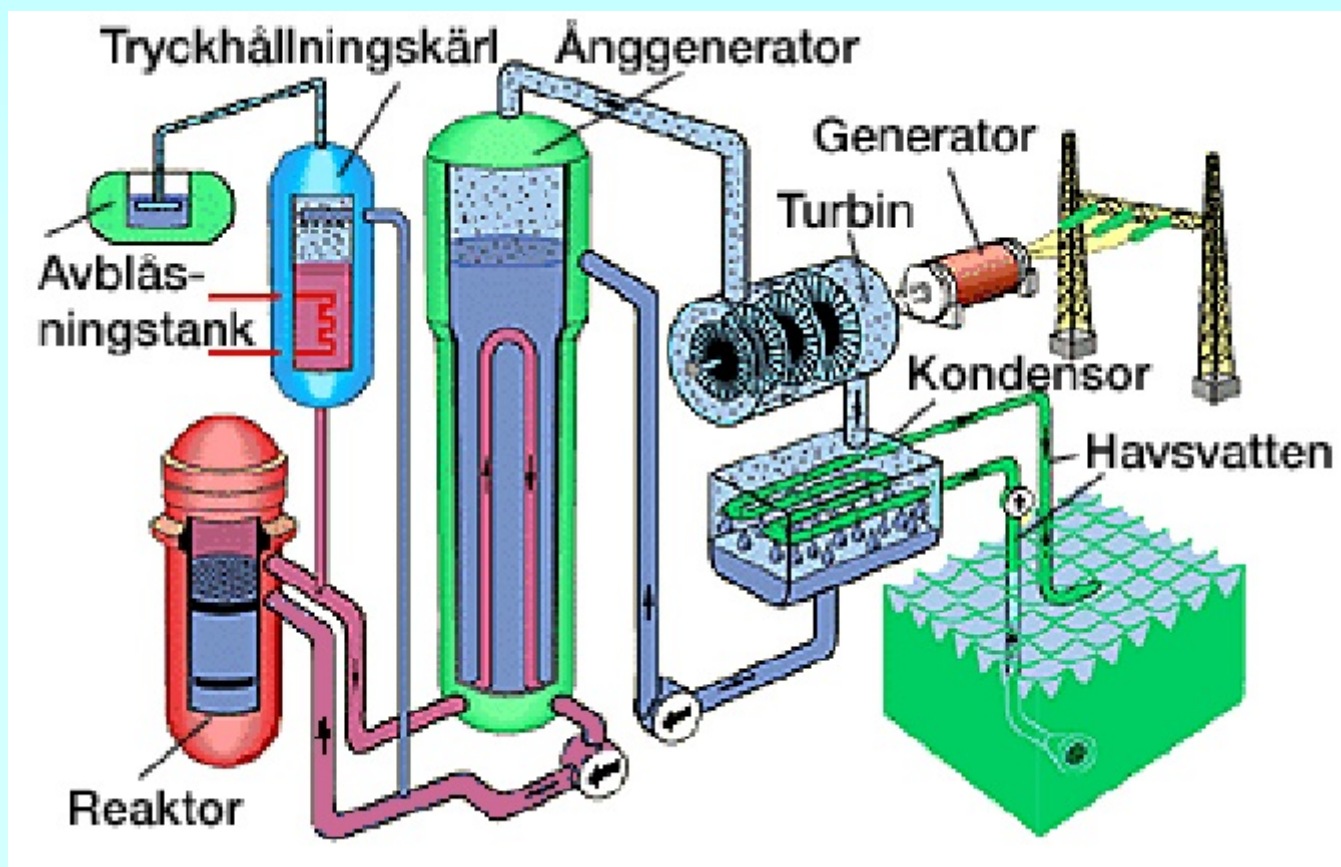
Trykkvannsreaktor med turbin for generering av elektrisitet

Reaktortyper - kokvann



Prinsippskisse for svenske kokvannsreaktorer (Kilde: SKI)

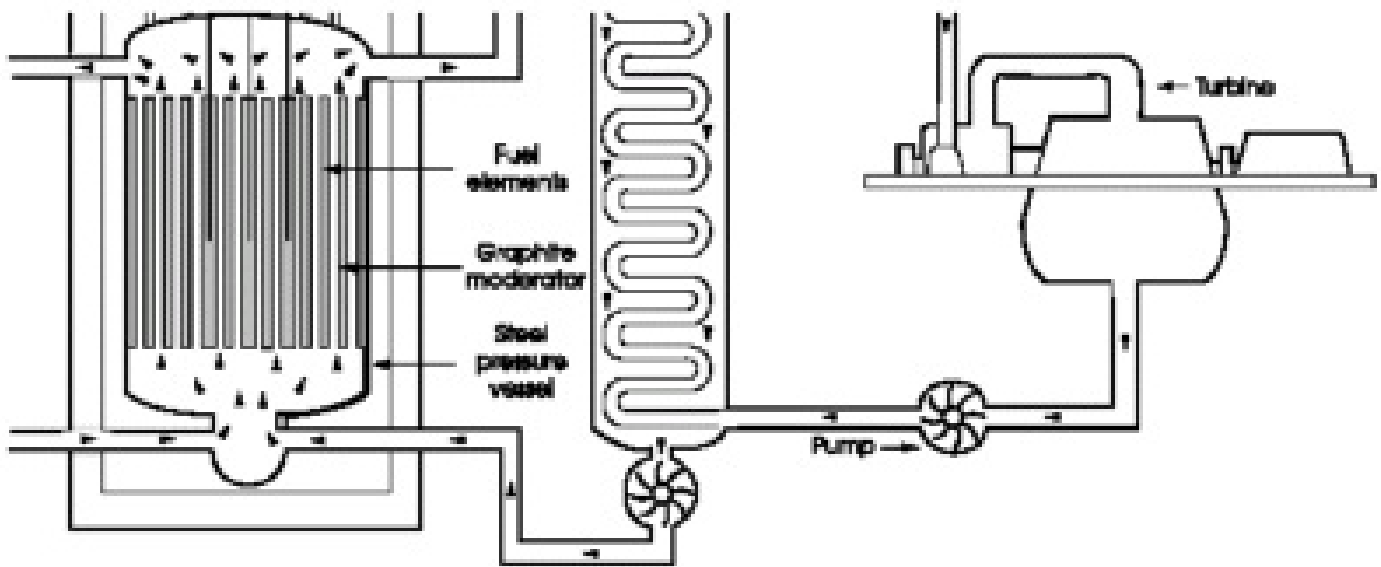
Reaktortyper - trykkvann



Prinsippsskisse for svenske trykkvannsreaktorer. (Kilde: SKI)

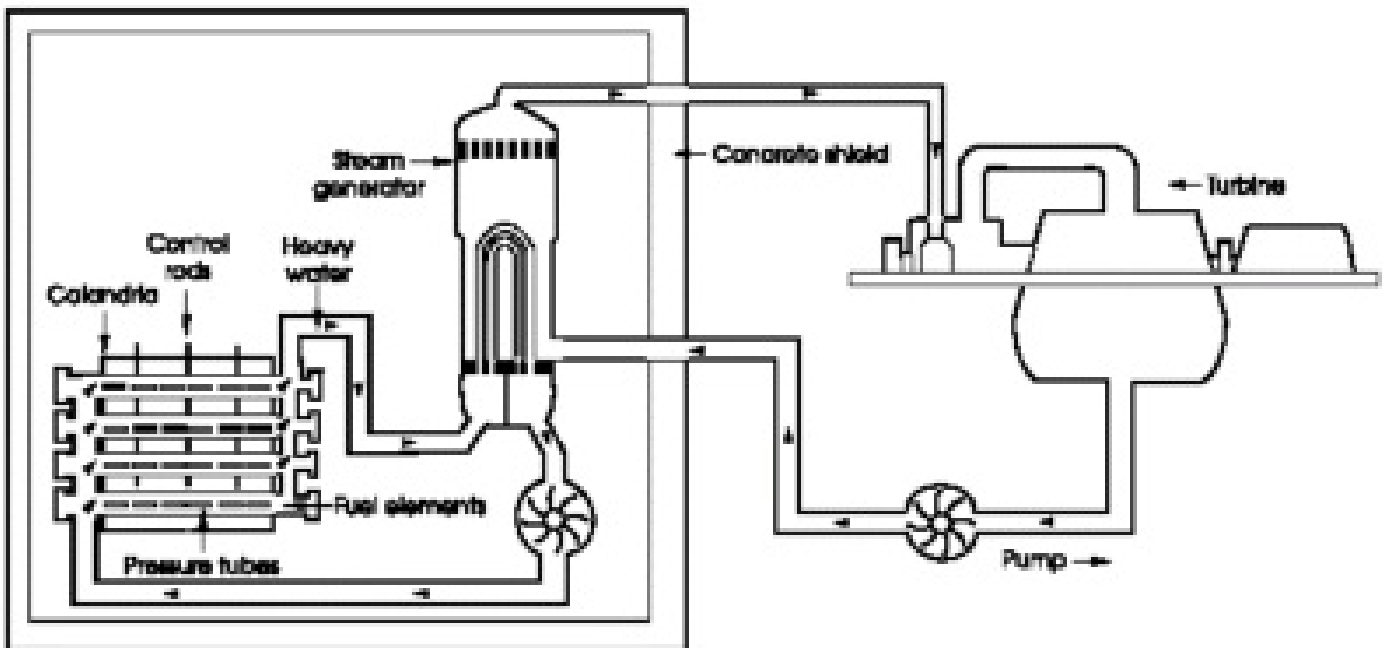


Reaktortyper - Magnox



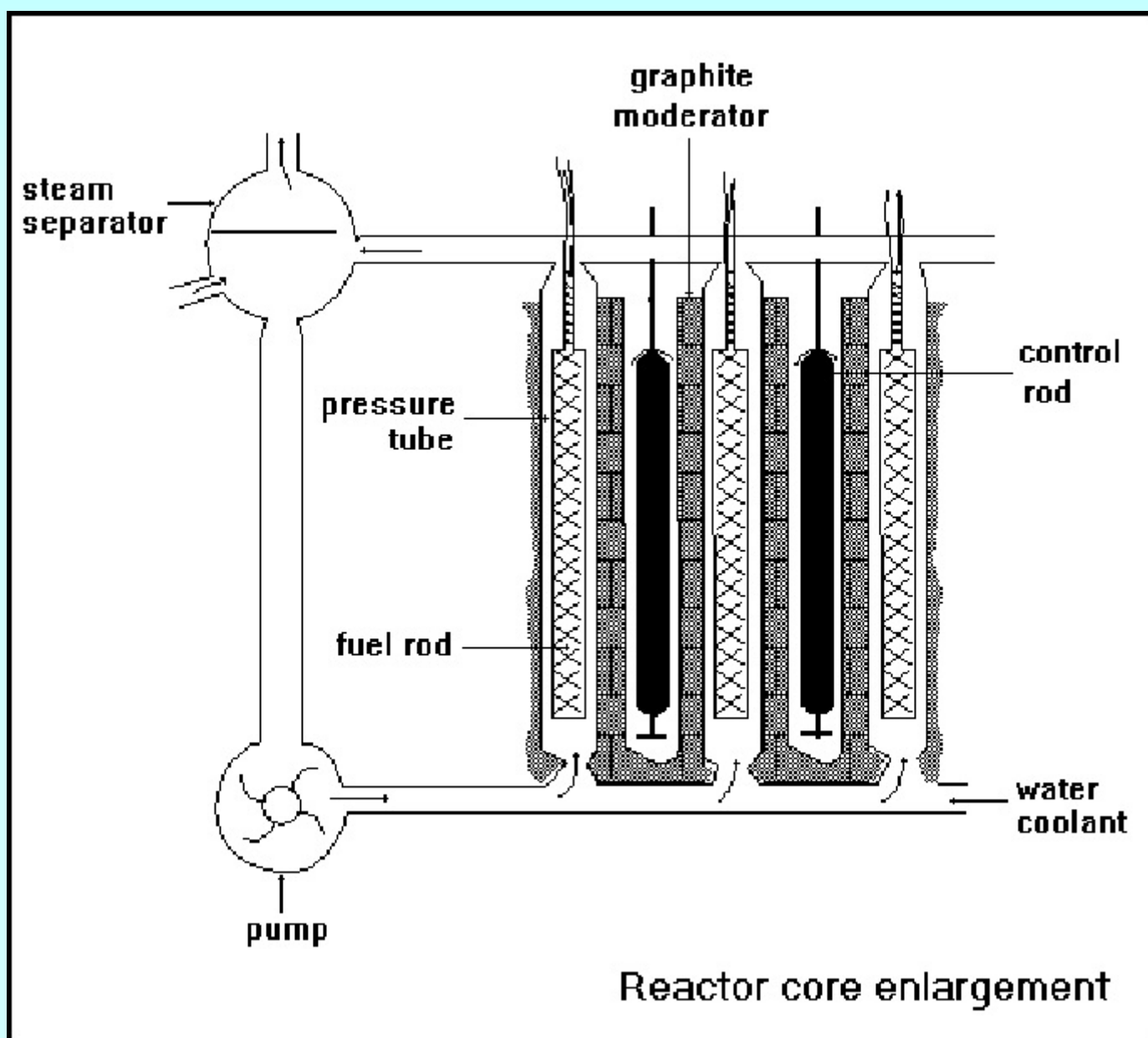


Reaktortyper - tungtvann (Canada)





RBMK-reaktoren (Tsjernobyl-typen)



I denne reaktortypen står hvert enkelt brenselement i en kjølekanal, omgitt av grafitt som moderatormateriale.



Viktige reaktortyper.

Lettvann + anriket U (3-4 % +)

Lettvann + nat U går ikke

Tungtvann + nat. U (Canada)

Grafittmoderator + nat. U
kan fungere

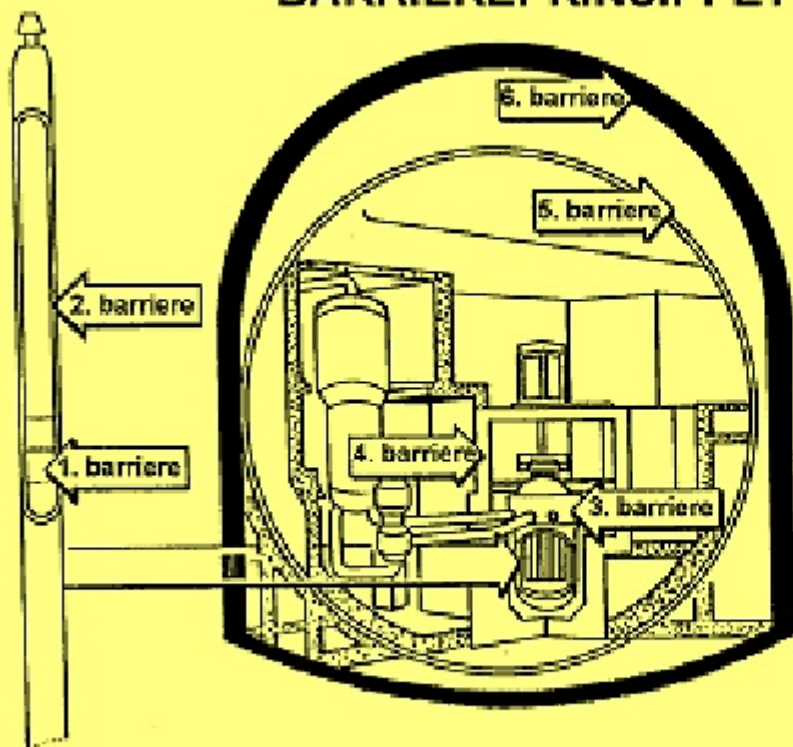
f.eks. Magnox- reaktorene.

I reaktortyper der den totale energibalansen ikke er interessant som f.eks. skipsreaktorer og visse forskningsreaktorer, brukes ofte høyanriket uran, helt opp til “våpenuran”, d.v.s. $> 90\% \text{ }^{235}\text{U}$



Sikkerhetsbarrierer

BARRIEREPRINSIPPET



1. Brensel
2. Kapslingsrør
3. Primærkrets
4. Betongskjerm
5. Primærinneslutning
6. Sekundærinneslutning

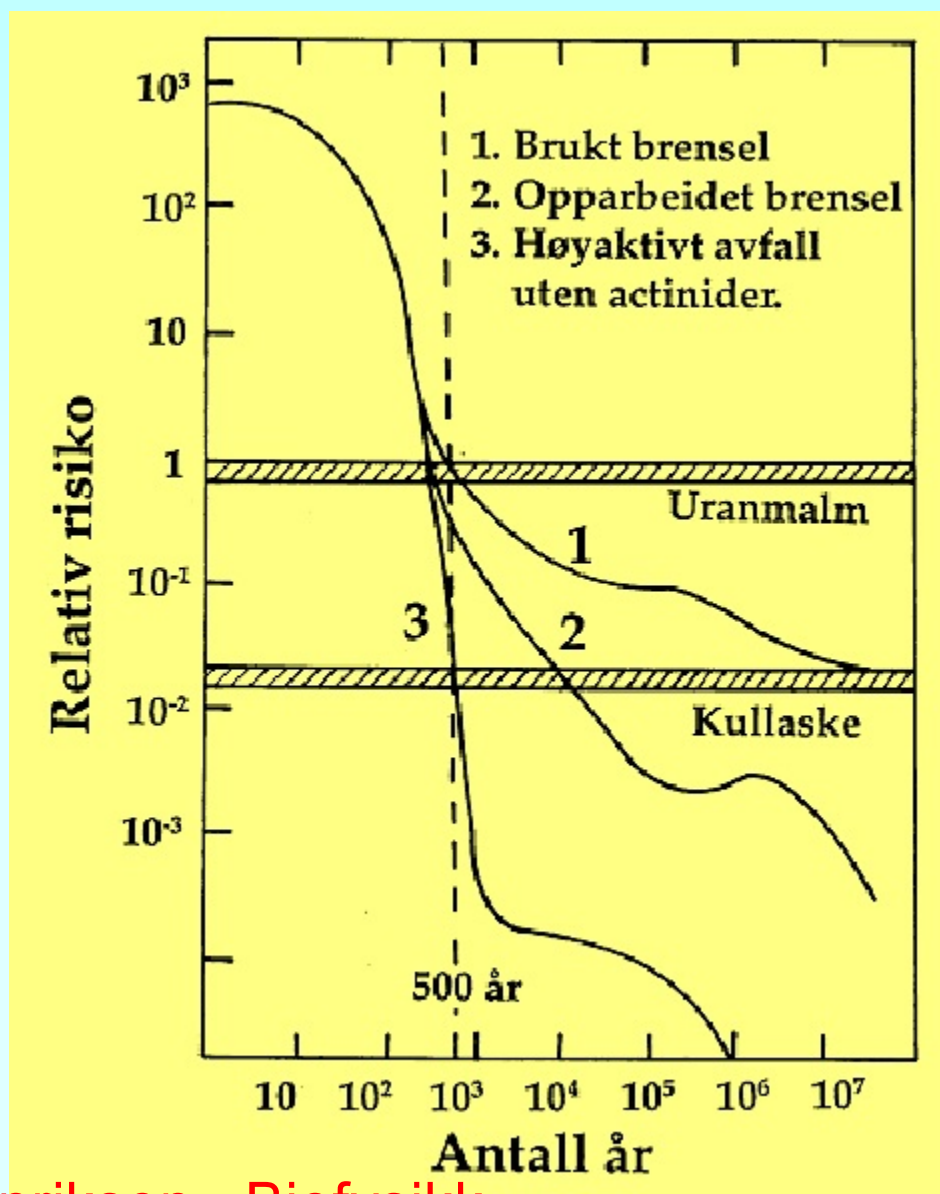
Tekniske sikkerhetsbarrierer

T. Henriksen, Biofysikk

- 1. Brenselet selv
- 2. Brenselkapsling
- 3. Reaktortank
- 4. Betongskjerm
- 5. Primærinneslutning
- 6. Ytre bunker



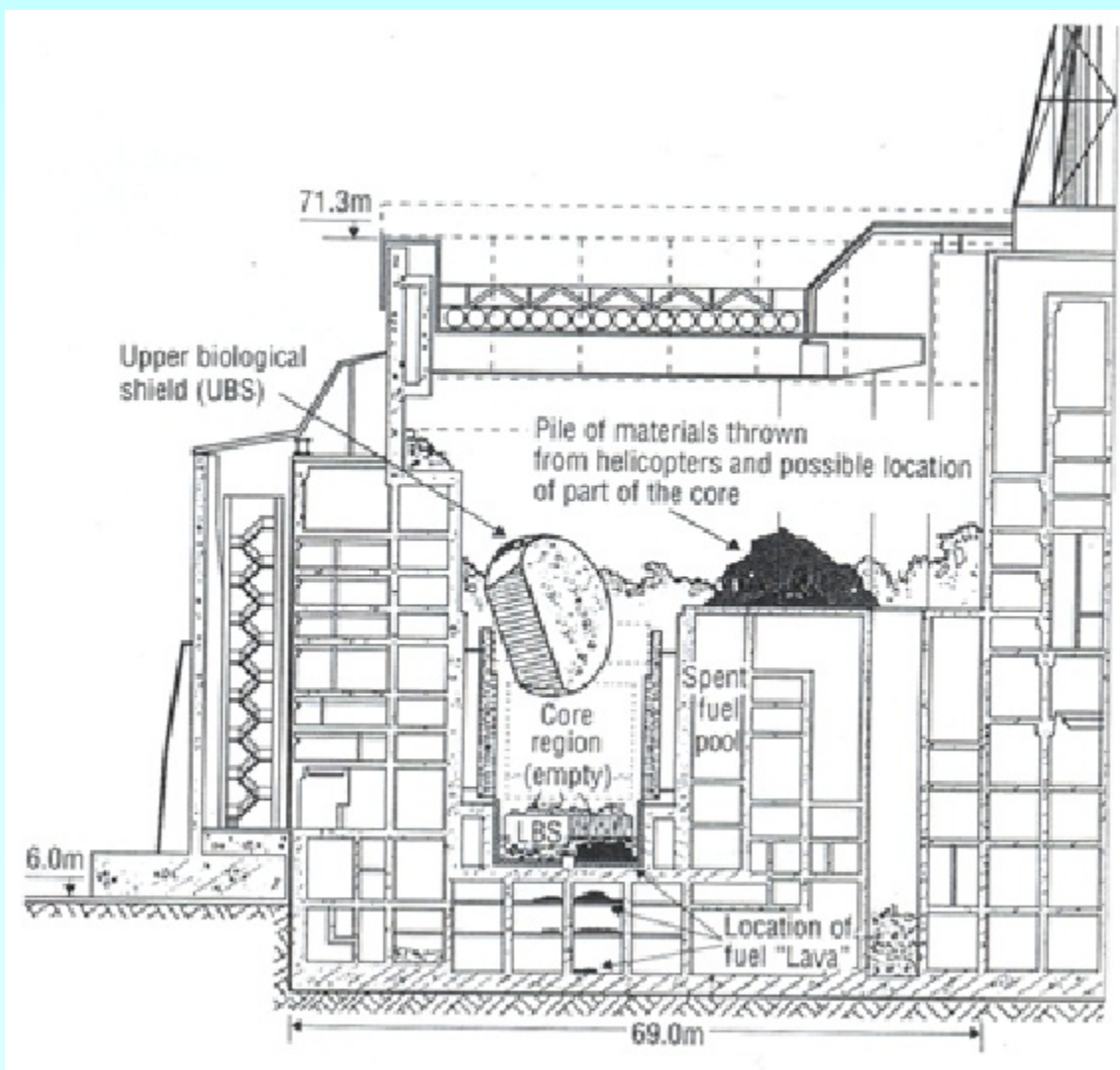
Brukt brensel



T.Henriksen. Biofysikk

Den radiologiske risikoen ved brukt brensel avtar som vist her.

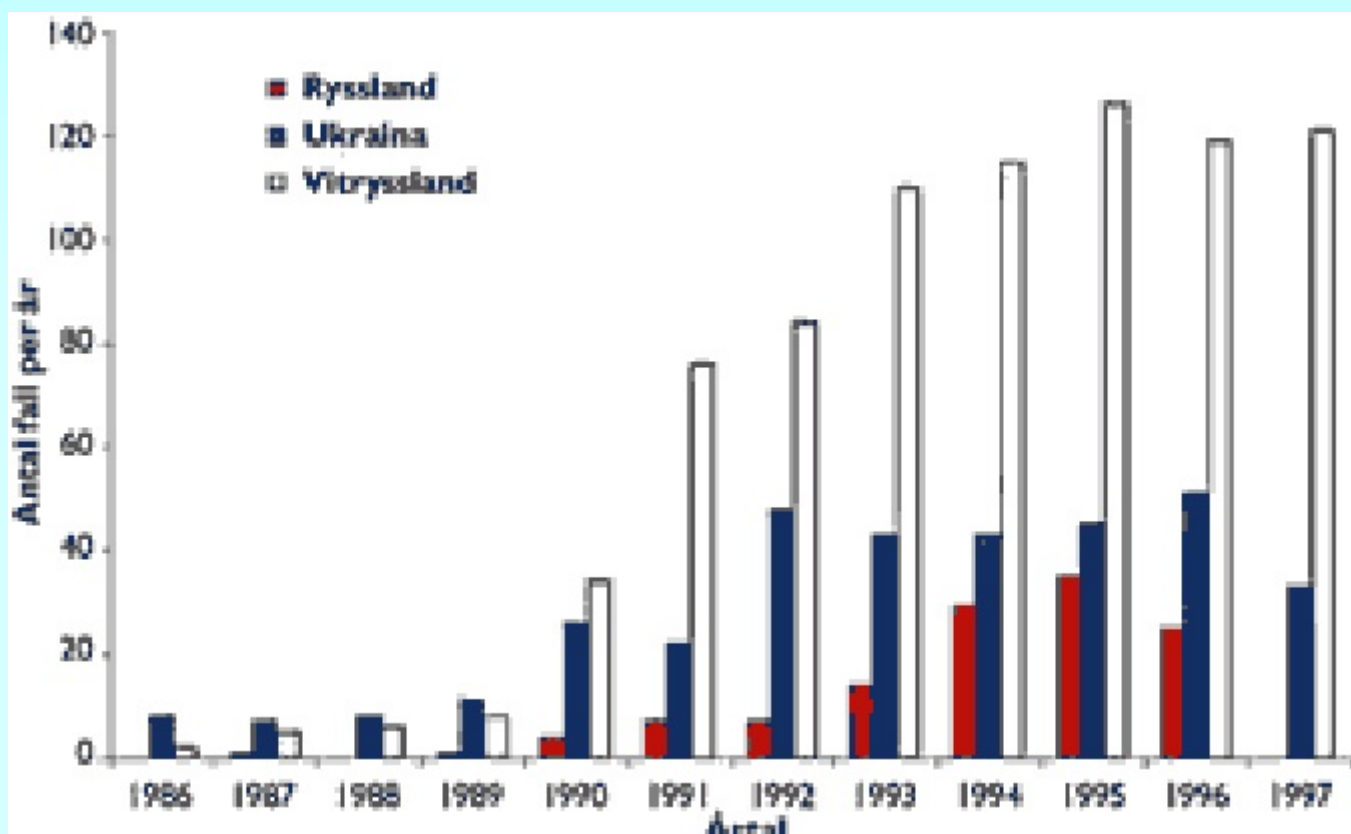
Tsjernobylulykken



Restene av reaktor nr 4 i Tsjernobyl etter ulykken



Thyroidea-cancer hos barn

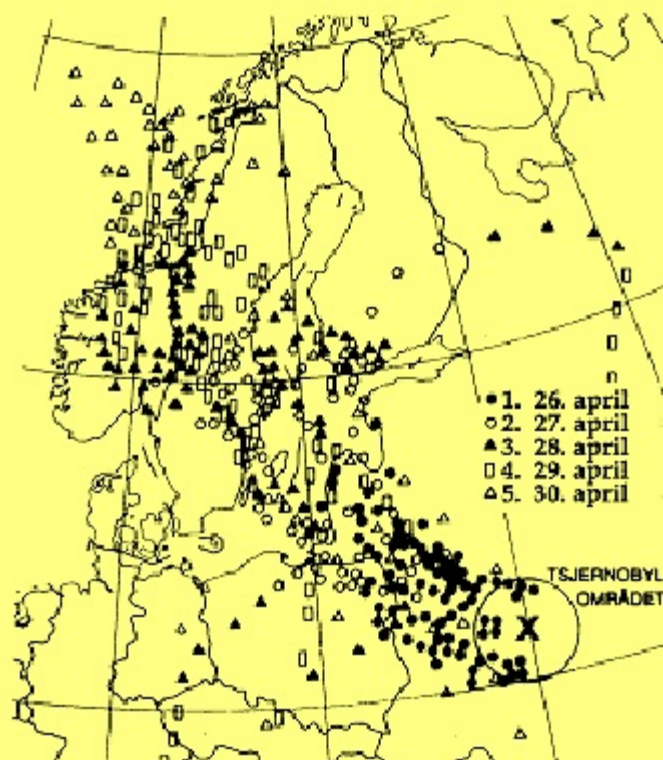
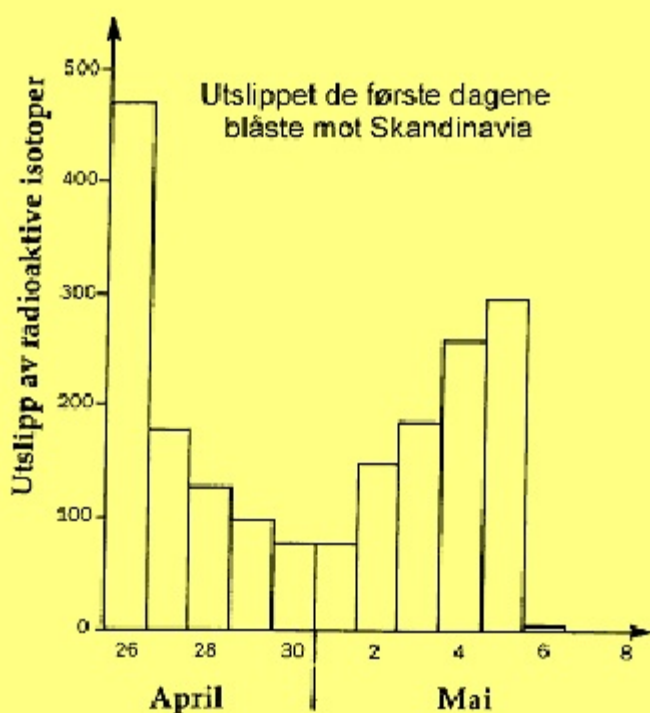


Kilde: SSI, Sverige

Det er en dramatisk økning av thyroidea-cancer hos personer som var mellom 0 og 15 år da Tsjernobyl-ulykken fant sted, trolig p.g.a. mangelfull beskyttelse mot eksponering av ^{131}I

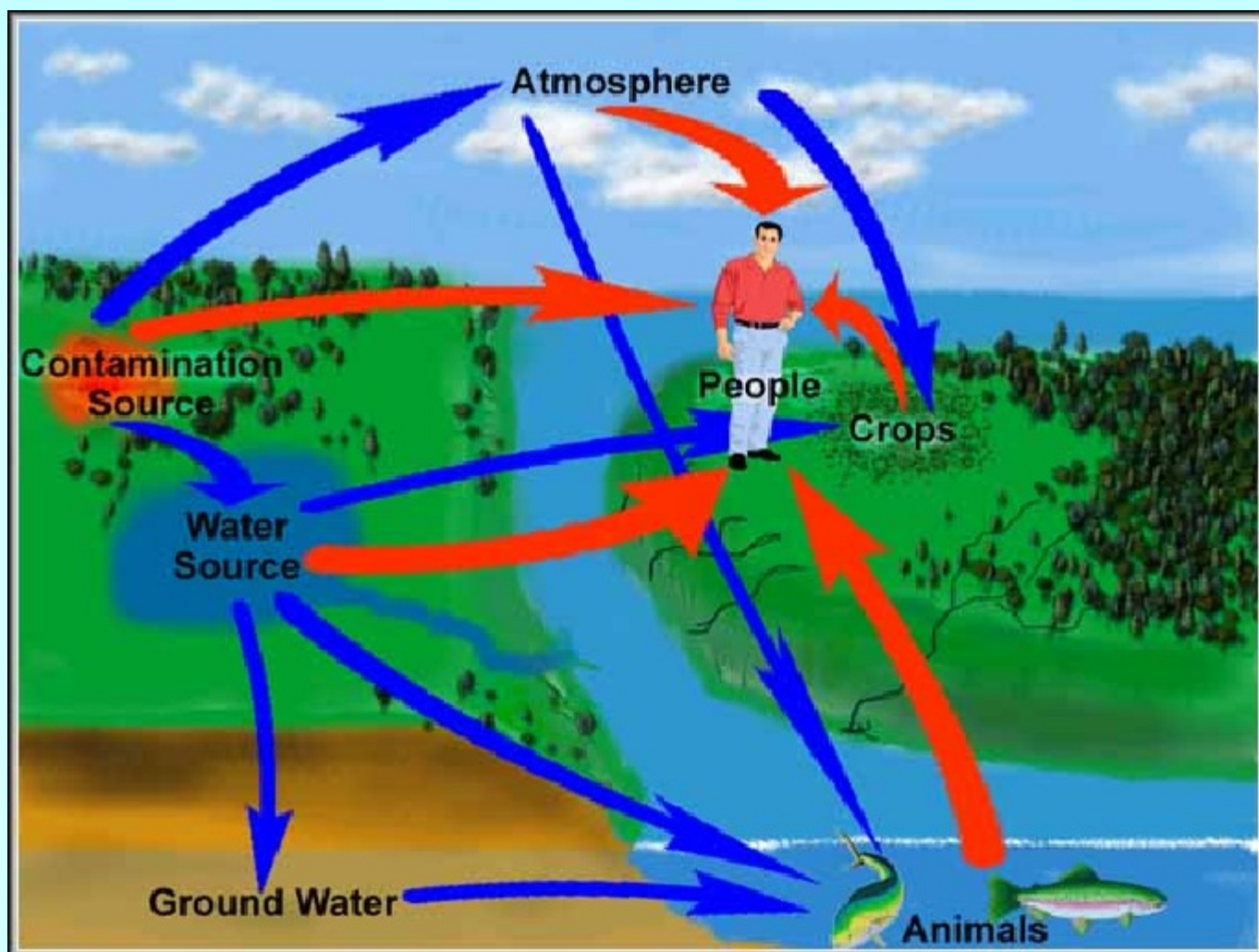


Transportmønster fra Tsjernobyl april/mai 1986



Været i den aktuelle perioden gikk fra øst mot vest, og førte til maksimalt nedfall i et strøk Gävle - Snåsa

Radioaktivt nedfall



Et nedfall etter en ulykke vil følge ulike veier i naturen avhengig av meteorologiske forhold, radionuklidenes kjemi, ulykkens forløp osv.



Avfallsnuklider

- Det er tre kilder til radioaktivt avfall ved reaktordrift.
- Transuraner fra (n, γ) -prosesser i uranbrensel
- Fisjonsprodukter
- Andre innfangningsprosesser (i konstruksjonsmaterialer o.l.)
- I tillegg kommer avfall fra anrikningsprosessen, især utarmet uran.



Avfallsnuklider - De viktigste transuranene (unntatt uran)

(> 1 Ci pr. Tonn brukt brensel)

Halveringstid > 25 år:

^{238}Pu	88 år
^{239}Pu	24 000 år
^{240}Pu	6560 år
(^{242}Pu	375 000 år)
^{241}Am	432 år
^{243}Am	7370 år
^{243}Cm	29 år

Halveringstid 1-25 år

^{241}Pu	14.4 år (mest myk β , gir ^{241}Am)
^{244}Cm	18 år



Avfallsnuklider

De viktigste fisjonsprodukter

Svært langlivede

(Halveringstid > 1000 år)

^{79}Se 65 000 år

^{93}Zr 1.5 mill år

^{99}Tc **213 000 år**

^{107}Pd 6.5 mill år

^{126}Sn 100 000 år

^{129}I **16 mill år**

^{135}Cs 2 mill år

Lagringsmetoder skal forhindre at også disse i vesentlig grad kommer ut i miljøet.



Avfallsnuklider

De viktigste fisjonsprodukter

Middels halveringstid (0.5-100 år)

^{85}Kr 11 år

^{90}Sr 29 år (^{90}Y datter)

^{106}Ru 1 år (^{106}Rh datter)

$^{113\text{m}}\text{Cd}$ 15 år

^{125}Sb 2.8 år

^{134}Cs 2.0 år (aktiveringsprodukt)

^{137}Cs 30 år

^{144}Ce 284d (^{144}Pr datter)

^{147}Pm 2.6 år

^{151}Sm 93 år

^{154}Eu 8.5 år (aktiveringsprodukt)

^{155}Eu 4.9 år



Avfallsnuklider - Noen viktige kortlivede

^{89}Sr	50 d.
$^{95}\text{Zr/Nb}$	64/35 d
^{103}Ru	39 d
^{131}I	8 d
^{133}I	21 h
^{132}Te	3 d
^{140}Ba	13 d (^{140}La datter)
^{141}Ce	33 d
^{143}Pr	14 d
^{147}Nd	11 d
$^{148\text{g,m}}\text{Pm}$	5/41 d (aktiveringsprod.)
^{149}Pm	2.2 d
^{151}Pm	1.1 d
^{153}Sm	2.1 d



Forsmark 1, installasjon

