



# THORIUM- ENERGI

**Reaktortank MSR Experiment, Oak Ridge National Labs, 1964-69**

Elling Disen  
Ingénieur, Grunder

Torium Konsult AS [elling@torium.no](mailto:elling@torium.no)



# Thorium i Norge

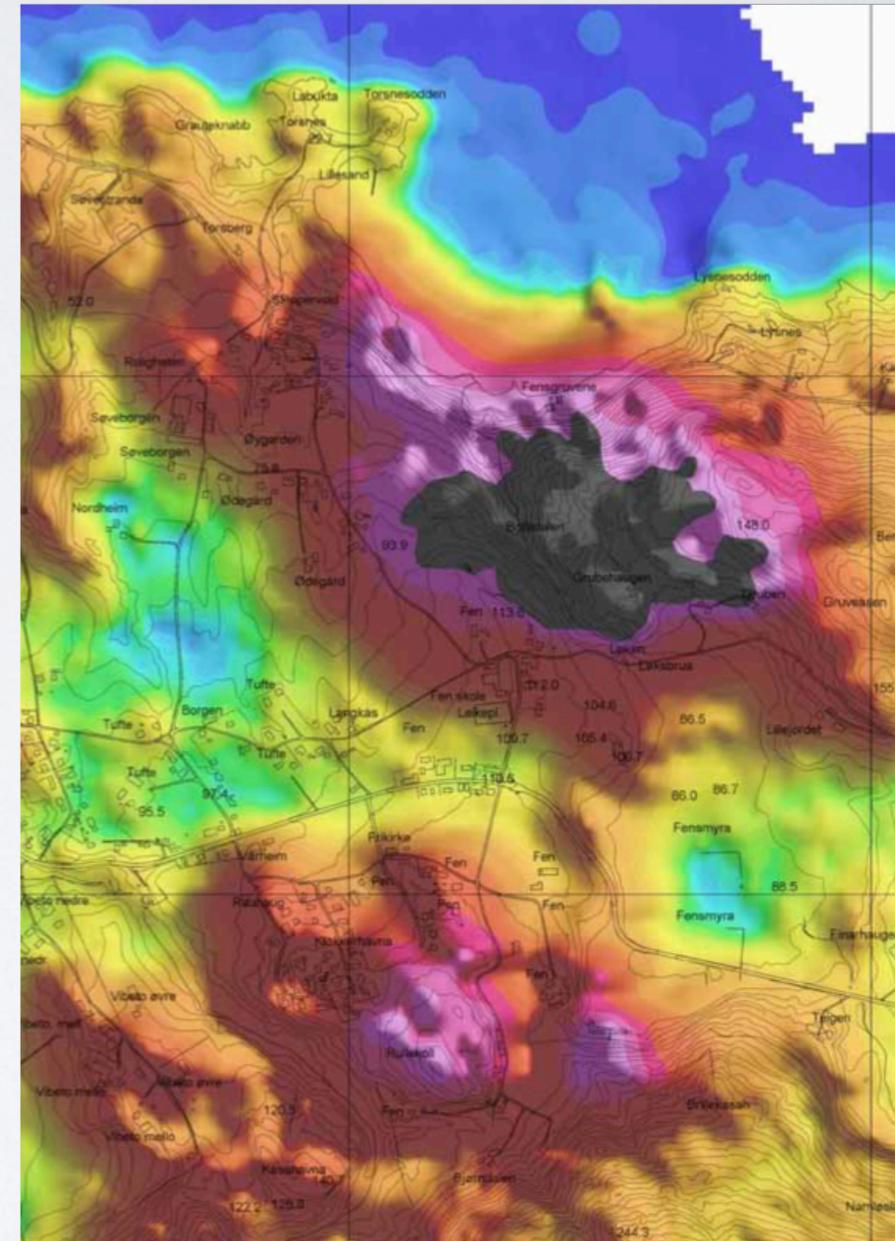
- Thoriumrapport februar 2008 til Haga
- Tre leire i Norge : Akselerator ADS, Thor Energys staver og saltsmeltereaktor MSR.
- ADS er verdens mest komplekse og dyre kontrollstav. Frankrike sa «Merci non» til Rubbia under hele 90tallet.



**Rubbia, Lillestøl, Jensen og Solvik i TU 2007 da forskning.no stilte spørsmålet om vi var for mette for thorium. MSR opplevde gjennomslag i 2014. Både H og FrP har Thorium R&D i langstidsprogrammene.**

# Ressurser

- 3x mer thorium enn uran
- Monazitt i sand, myk geologi bla India, Australia
- Fensfeltet har 130 000 tonn Th for dagbrytning.
- Tidligere prospekter har indikert 10x mer.
- Jordmetaller er kommersielt intressant : Scandium, Neodymium, Niob, Tantal, Europium
- Separasjon av Th til selvkostnad ?

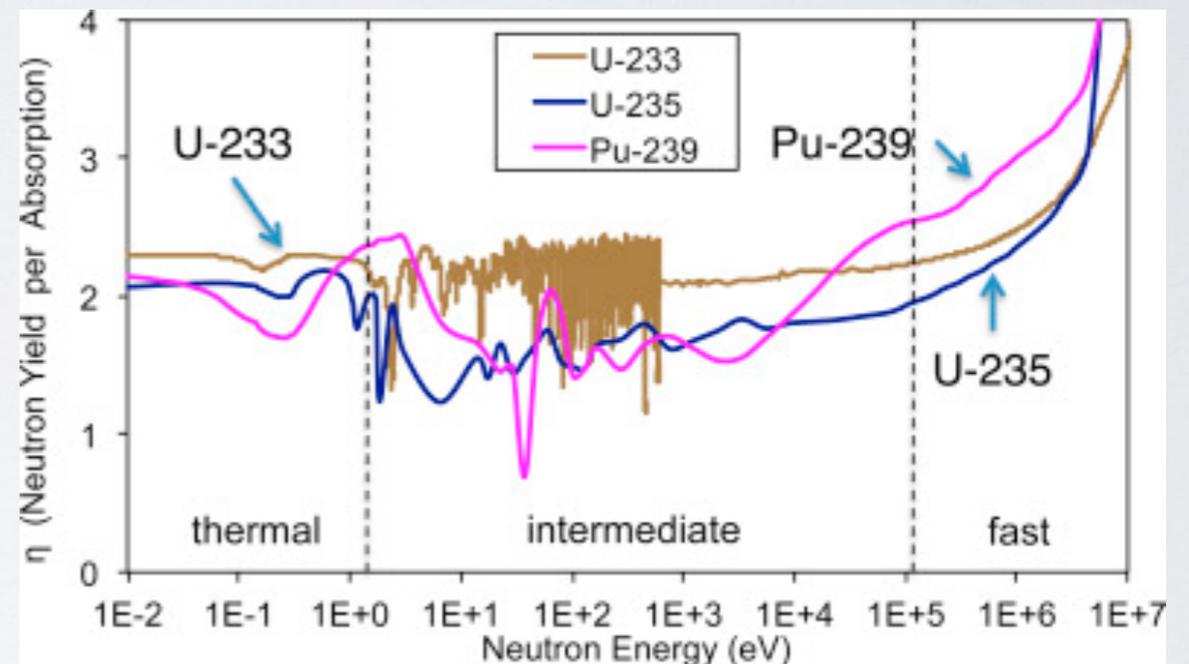


**Gammastråling fra thorium, Fensfeltet**  
**Fylkesgeologen fikk 8MNOK fra OED for et**  
**par boringer.**



# Thoriums fordeler

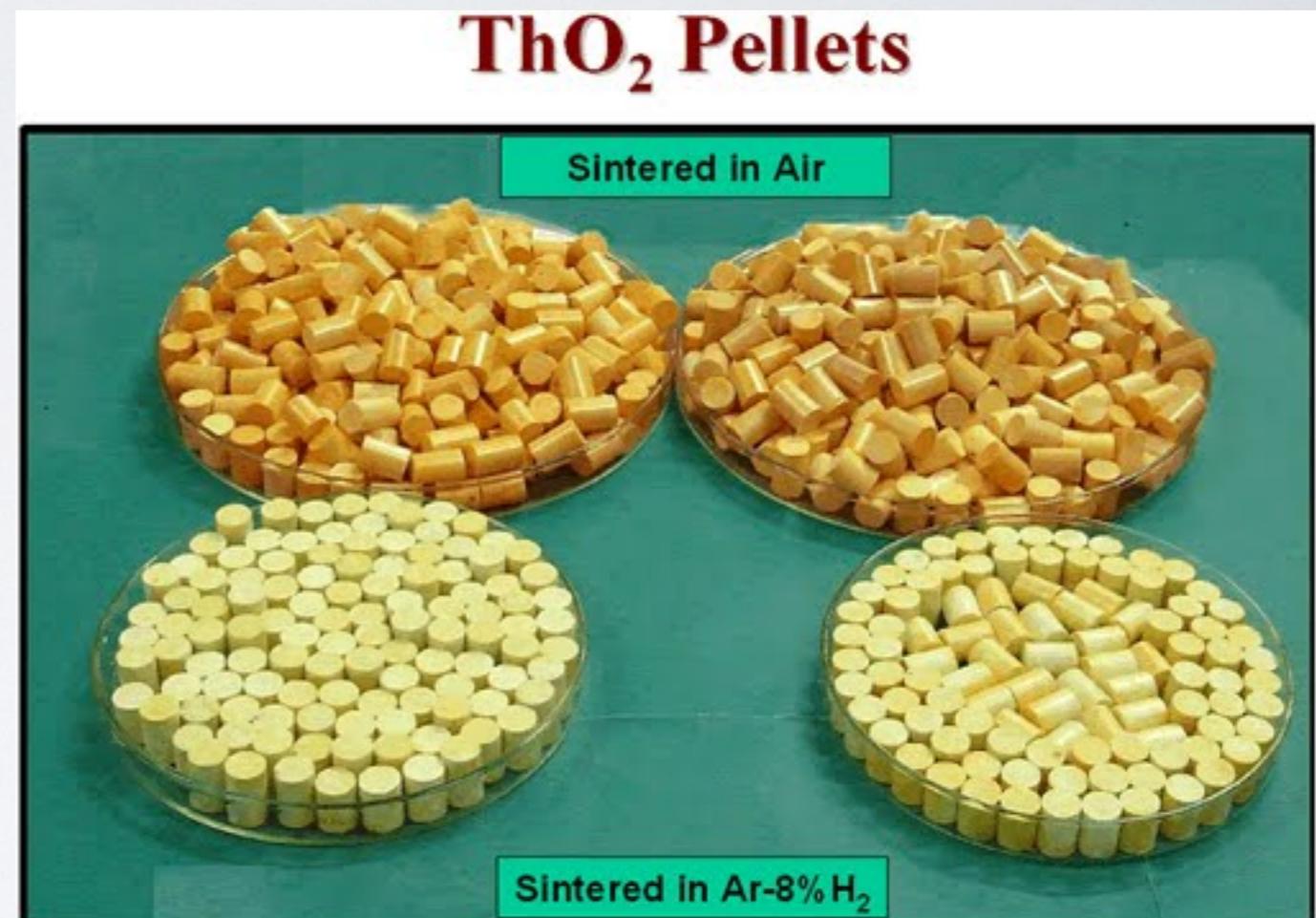
- Mye mindre langlivet avfall  
Cm, Am
- Langsamt nøytronspektrum :  
3x mindre fissilt inventorium  
Mindre stråleskade
- U233 gi opphav til U232 som  
igjen gir sterk gammasignatur.



**U233 er det beste brensel dvs har størst tverrsnitt for fisjon over nesten hele spektret : Thoriumsykelen er overlegen uransykelen i termisk spektrum.**

# Thoriums ulemper

- Våt ved : behøver fissil startladning fra U235, Pu239 og tid til å breede U233
- Thoria dvs ThO<sub>2</sub> er ikke vannløselig.
- Thoriumfluorid ThF<sub>4</sub> er vanskelig å kjemisk separere fra lanthanidene, LaF<sub>3</sub>.



**Såkalte MOXbrensler, PuMOX og ThMOX, blandes mekanisk fra pulvere og har strenge krav på isotropi. Mangel på vannløselighet er et uløst problem for avfallssortering.**

# Fast eller flytende ?

- Staver må tas ut etter et år for ikke å mekanisk desintegre. 99% av brennverdien blir et langlivet avfallsproblem.
- Thoriumsykelen bruker 3-5 år på å starte opp.
- Flytende brensel tillater 30års kontinuerlig nøytroneksponering. Langlivet avfall brenner bort, brensel-effektiviteten går mot 100%. Avfallet blir 100x mindre og kortlivet.
- Optimalt bør fertil og fissil Th-prosess fysisk skilles for å hindre blanding av ThF4 og LaF3, skillevegg transparent for nøytroner.



**Skade på stavsystemer er vanlig. Brenselpellets lekker da til det primære kjølevannet. Innkapslingen av pellets har til formål å hindre lekkasje av radioaktivitet. Den er tynnvegget for å begrense nøytrontap og kan ødelegges ved overoppheting dvs nedsmelting.**

# Historikk thoriumstaver

1. Innblanding i uranstaver, «turbo», 10% ekstra brennverdi
2. Miks av uransykel og thoriumsykel, uløst reprosessering
3. Etablering av thoriumsykel over flere brenselsbytter, uløst spredningsproblematikk

Shippingport : 3% overskuddsbreeding, ikke prosessert

CANDU, India : tungtvannsmoderator

MSRE : tilsatt U233 i flytende fluoridblanding

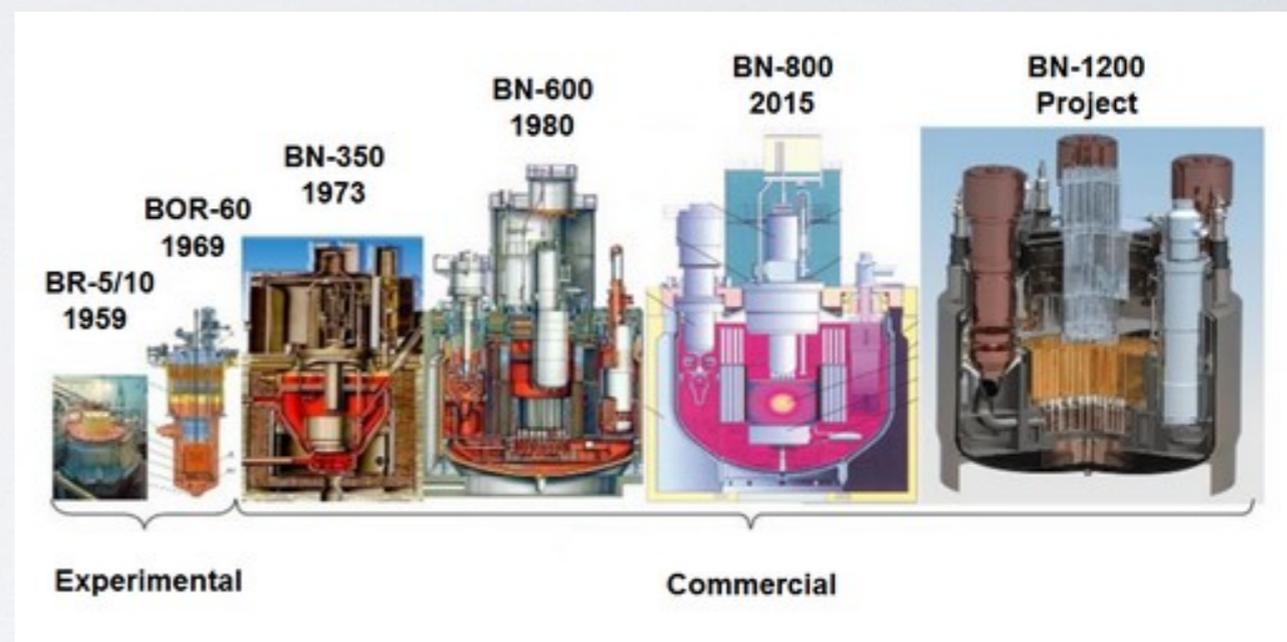
Lightbridge, Accident Tolerant Fuel : metallegeringer (ikke MOX) planlegges for bestrålingstesting, +50% brenntid



**AREVA ser på integrerte flytskjemaer sammen med kjemigiganten Solvay i Belgia. De har sagt at en full thoriumsykel kommer til å ta tiår og bare kommer til å skje om statlige myndigheter krever det. Er det trussel om uranmangel som ligger bak ?**

# Avfallshaugen

- Rent politisk problem
- Bør støpes i glass og lagres tørt
- Inneholder 1% Pu239. Er det verdt å separere ut? Frankrike og Japan sparer for GenIV. USA har bannlyst reprosessering av spredningsårsaker.
- Flytende brenselsblandinger, MSR, kan også brenne bort og utnytte avfallshaugen over tid.



**Russerne har startet natriumkjølte raske reaktorer. Går på U238, 2% lekkasje i reprosessering per år. Natriumkjøling og raske nøytroner har en lang og trøblete historie og anses nok ikke å være en sikker og eksporterbar teknologi.**

# Våpen

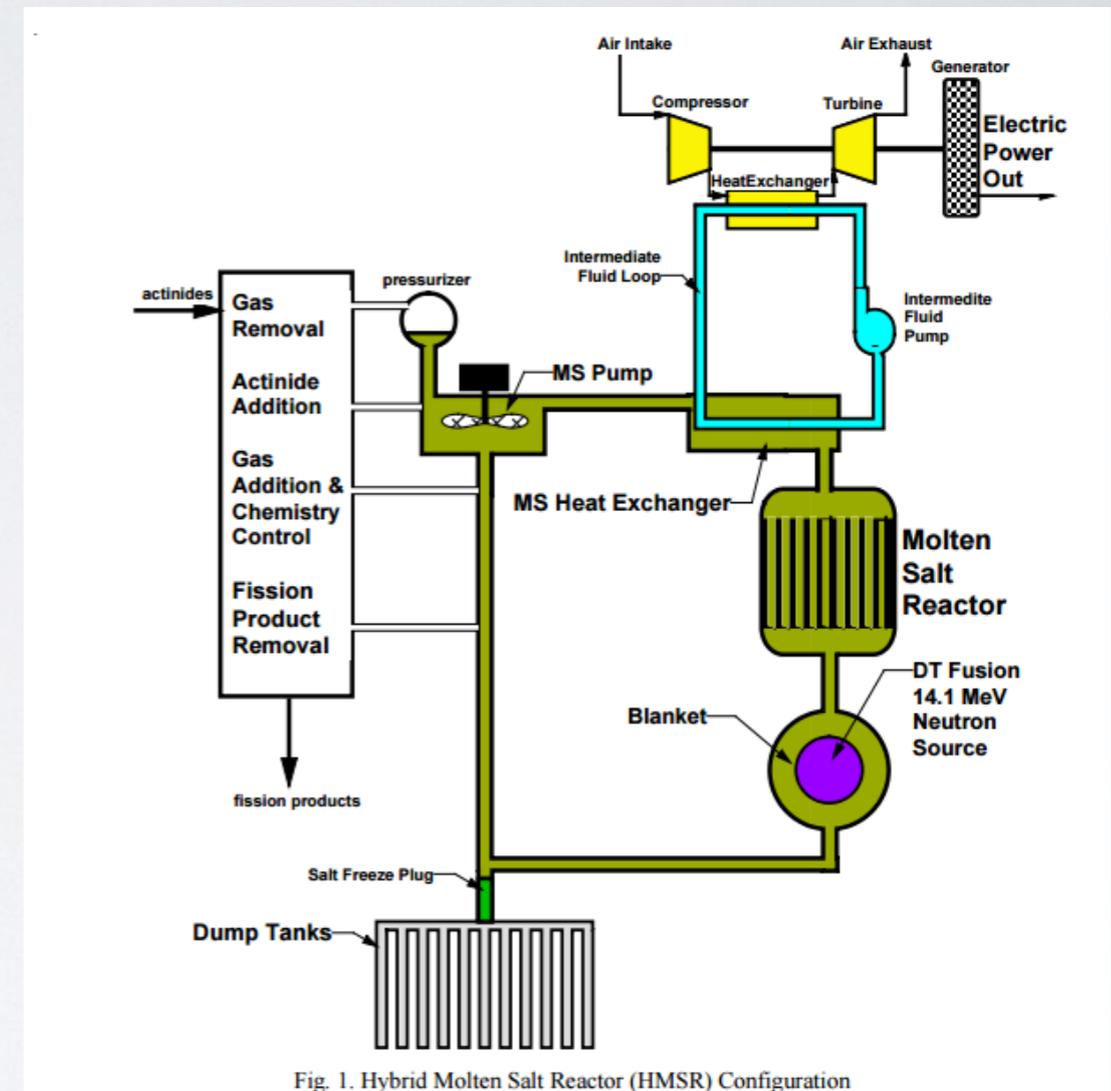
- High Enriched Uranium : 20% U235 i U238
- Reactor Grade Plutonium : < 93.5% Pu239 rel Pu240
- Uklart hva som gjelder for U233 : 50ppm ? Selfprotection fra U232s gamma-signatur ?



**U233 skal ha inngått i tester men gitt utilfredsstillende «yield». U233s gammasignatur gjør isotopen uegnet til diskret og sikker lagring.**

# Aktiviteter MSR

- ThorCon Power Inc, Indonesia
- Moltex LLC, Kanada
- FLiBe Energy (FoU på NF3),  
Terrestrial Energy (ingen kontrakt),  
Elysium Industries (klorider) ,  
TerraPower (Bill Gates)
- Statlig R&D i Frankrike, Nederland,  
Kina, India, Russland, Tsjekkia, Tyrkia,  
US



**Saltsmelterektorer MSRs er en familie teknologier. Referansekonstruksjonen fra Oak Ridge er fra 70tallet. ThorCon vil bygge den meste konservative varianten i full skala som ikke behøver mer FoU.**

# Thorium i salt vs uran i vann

- Radioaktivitet kjemisk innelåst
- Nedsmelting fysisk umulig
- Ingen høye trykk, gass eller damp
- Thorium er ikke våpenmateriale
- 100x mer brensel effektiv
- 100x mindre langlivet avfall
- 10x mindre stål, betong og byråkrati
- Lave kostnader i serieproduksjon



**Rørverk, MSR Experiment**

TILLEGG

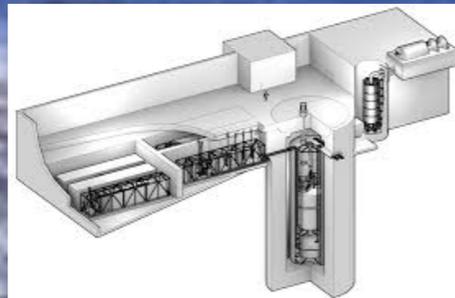
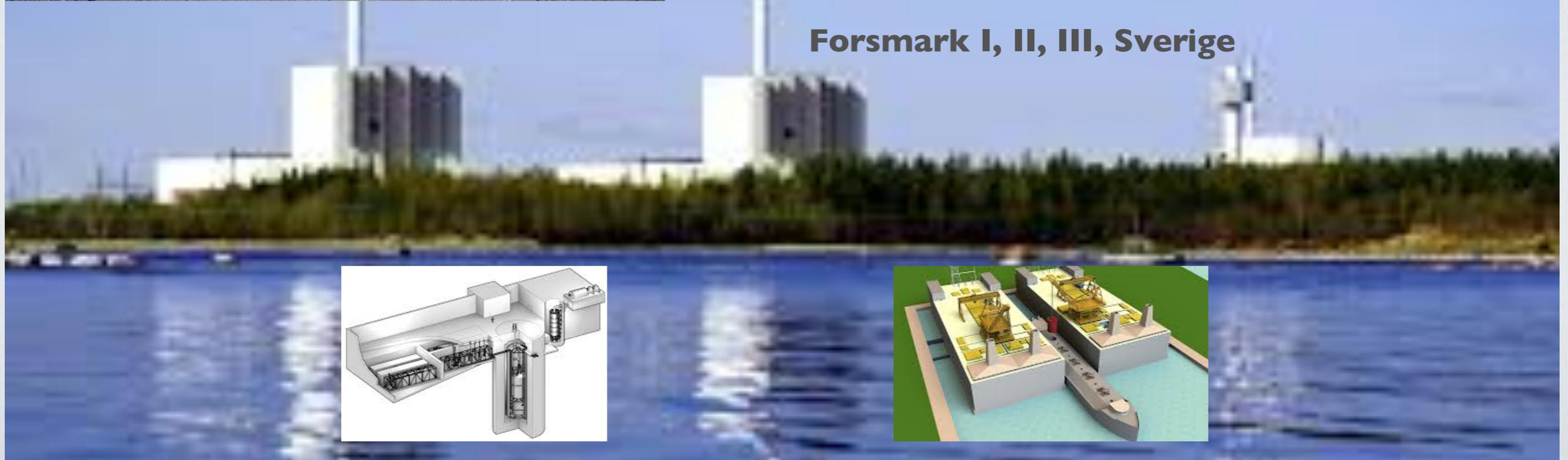
# Størrelsen har betydning.

**Kullaskeørken, Kina**

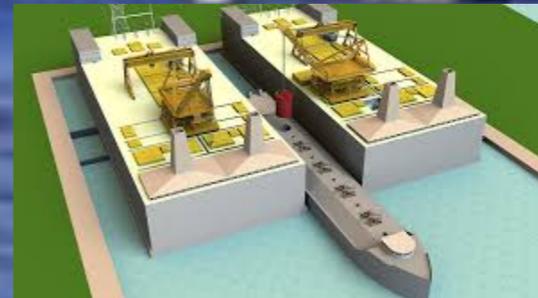


**Livstidsforbruk av thorium**

**Forsmark I, II, III, Sverige**

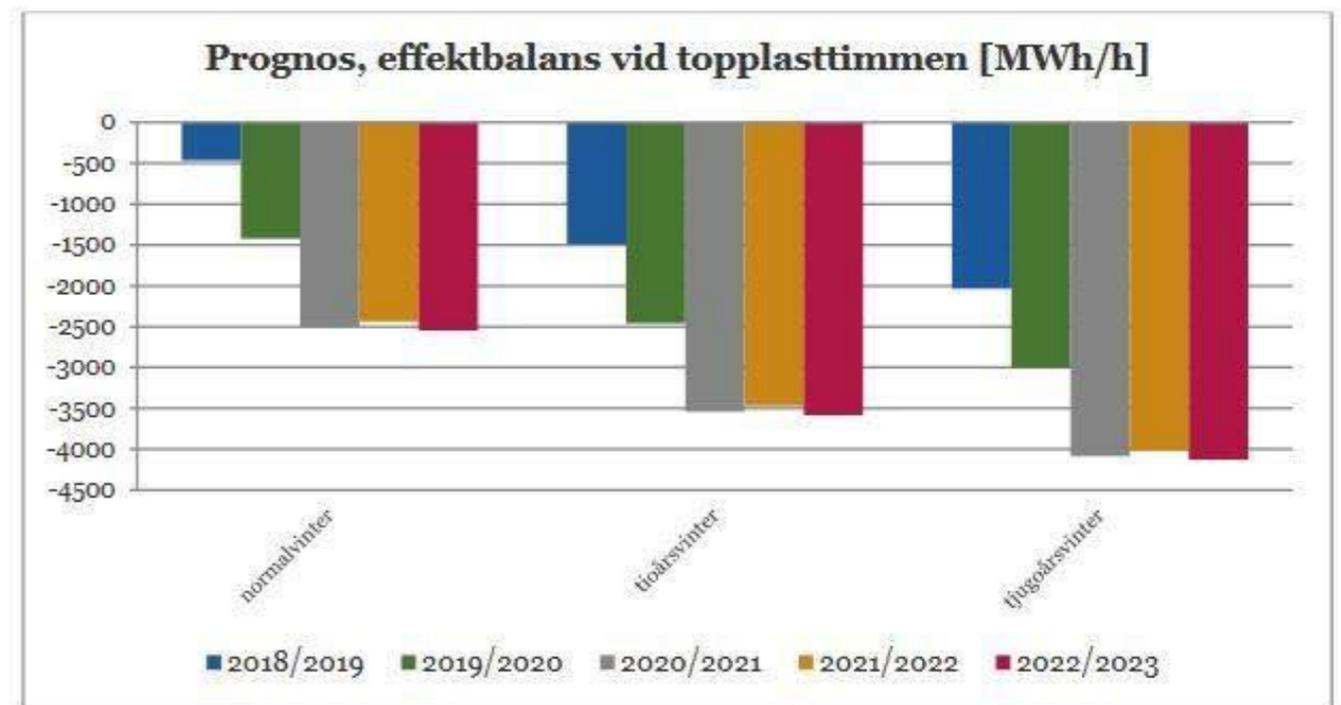
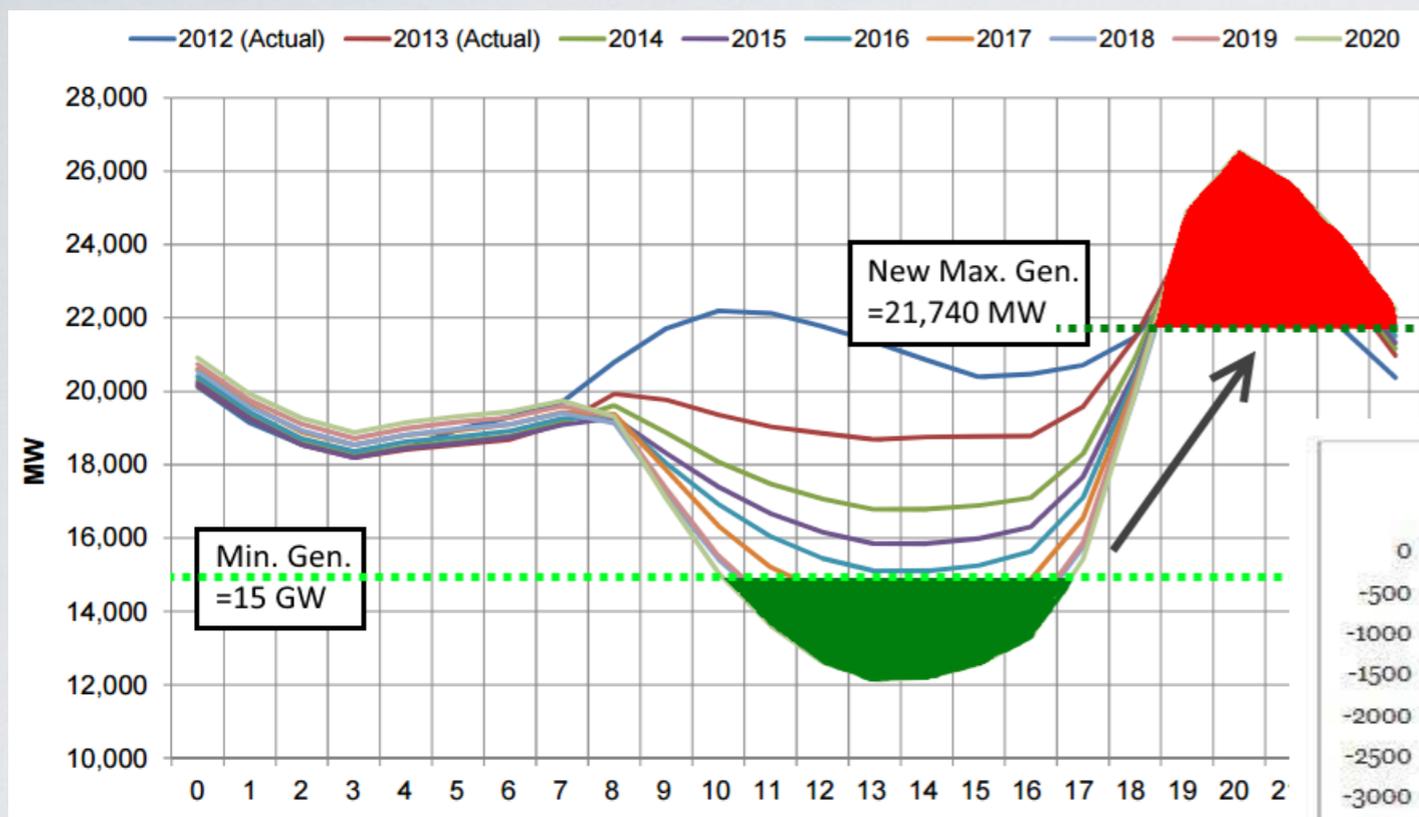


**FLiBe Energy, under bakken**



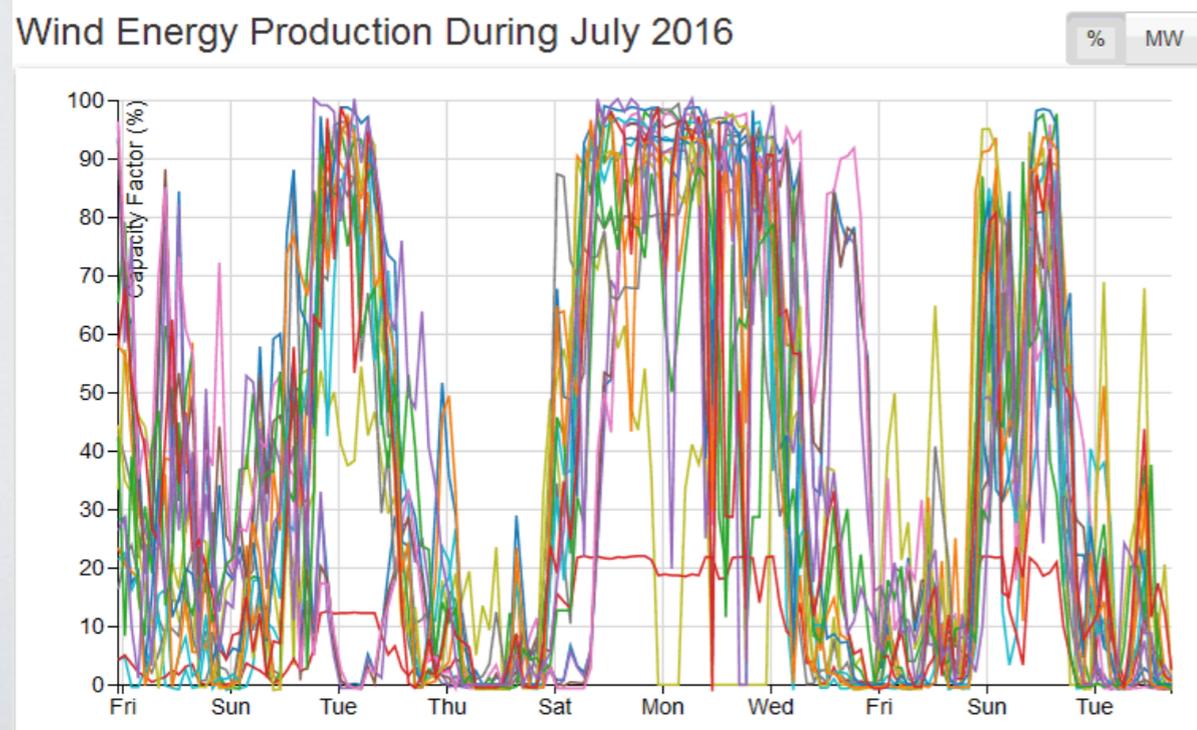
**Thorcon Isle, flytende**

# Momentan nettbalanse



Figur 14. Prognos för effektbalans under topplasttimmen för kommande vintrar. Källa: Svenska kraftnät, Kortsiktig marknadsanalys 2017.

## Californias strömbehov över døgnet



## Vindkraft over ukedagene, South Australia

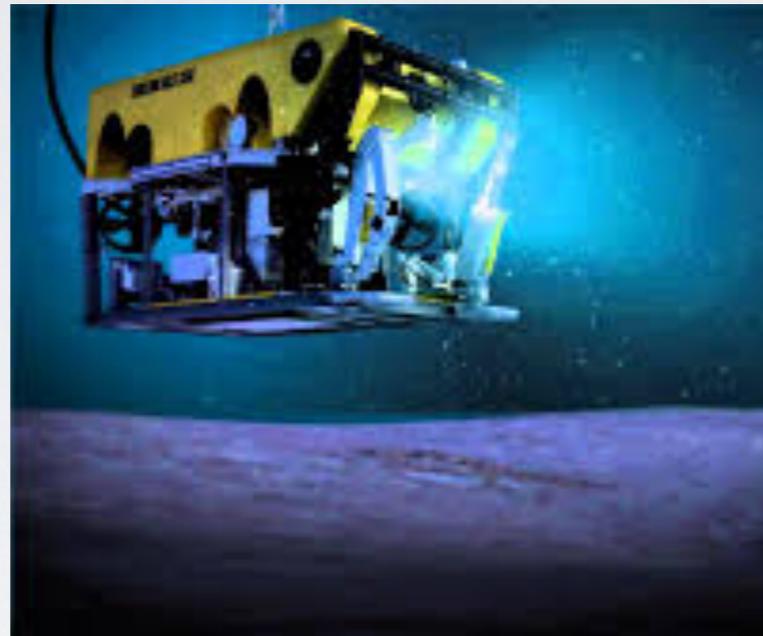
## Sveriges underskudd i vinterdagene

- Norges strömbehov på sikt ?

# Norge har kompetansene.



**Haldenreaktoren**



**Subsea**



**MSRE**



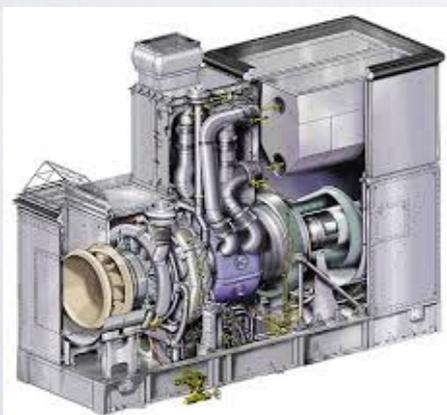
**1000 °C kryolittsmelte**



**Raffinering**



**Spesialskip**



**Turbiner**



**3D printing avanserte materialer**



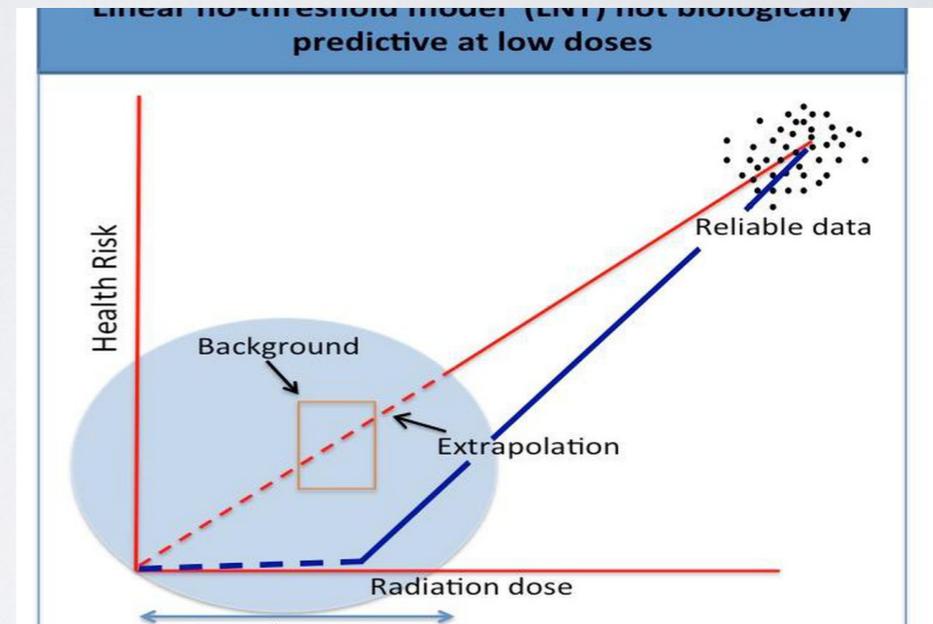
**Halider**



**HMS, lisensiering**

# Bedre rammevilkår ?

- LNT : 1000x for lave strålingsgrenser
- Ad hoc sikkerhetstiltak etter Chernobyl
- Nuclear renaissance avbrutt av Fukushima
- Politisk blokkering over avfall
- Eksempelløs inflasjon fra byråkratisering
- Kun russerne klarer serieproduksjon
- Kodifisert safety kun for vannreaktorer



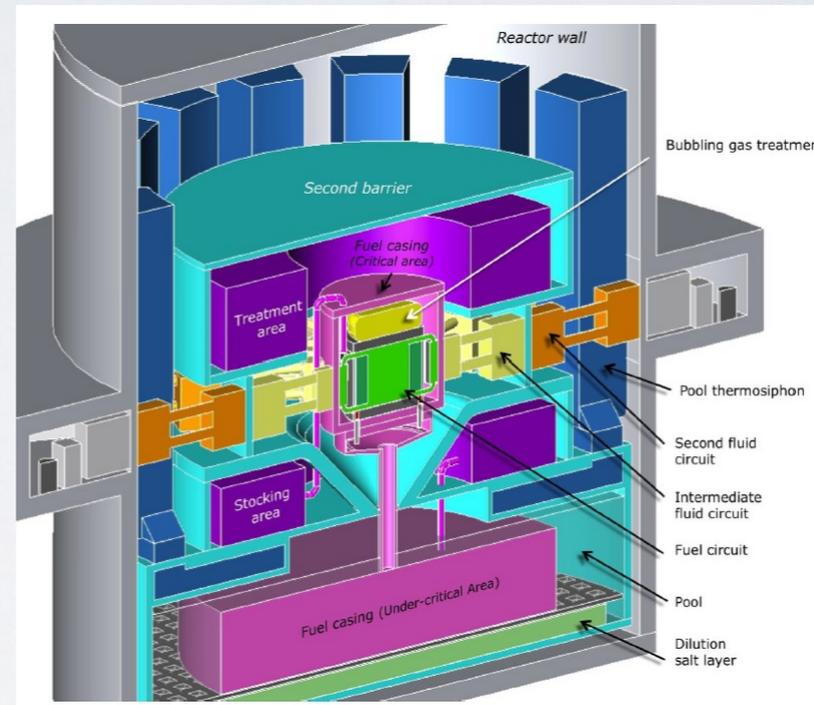
**Doser < 100mSv årsaker ikke kreft.**



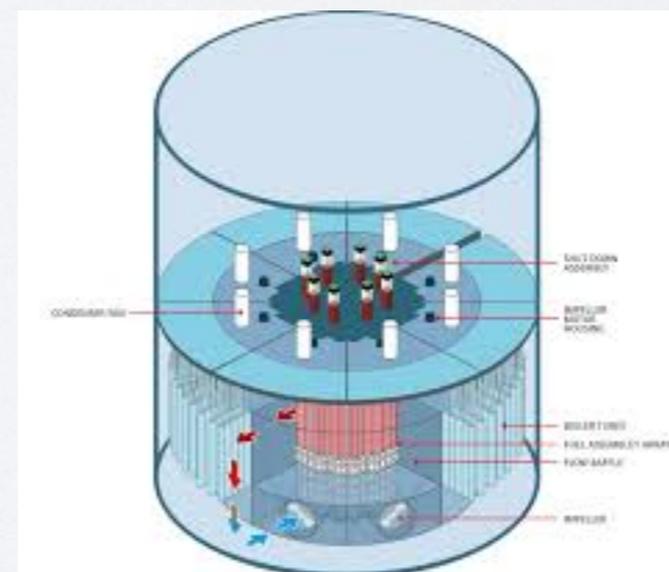
**Sveitsisk inventarium av kjerneavfall.**

# Svalbard for ThMSR ?

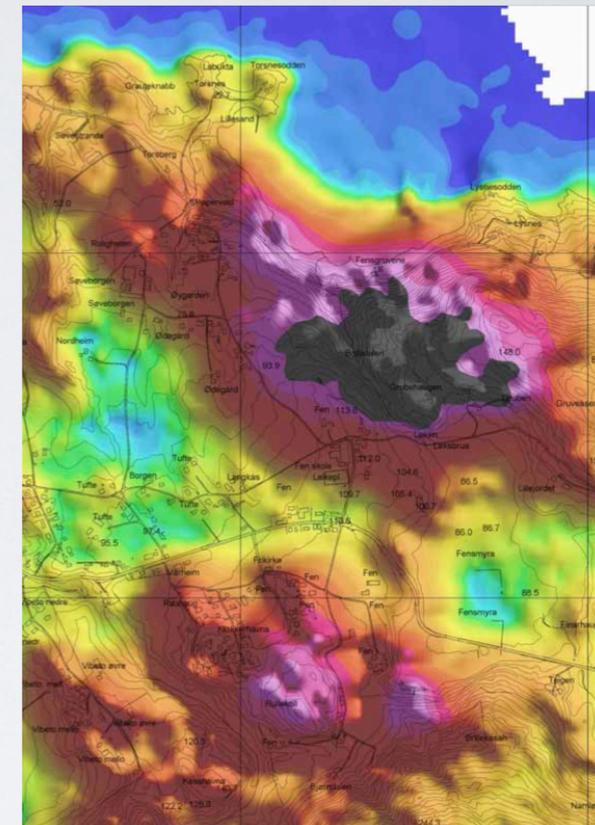
- Vi har nok tid og nok penger.
- Flere oppstartsfirmaer, konferanser.
- Ingen gjør noe uten et statlig initiativ.
- Høytemperatur varme til GTL, H<sub>2</sub>
- Kan konkurrere med kull
- Breakeven etter 5-10 år, høy ROI
- Nettstabilisator, absolutt minimalt CO<sub>2</sub>
- **Den Nye Oljå !**
- **Mulighetsstudie over 3 år ?**



**EVOL er den franske ThMSR.**



**Moltex har en kontrakt i Kanada.**



**Gammastråling fra thorium, Fensfeltet**