

# Fusionskraft under utveckling

Jan Weiland

Transportteori, Radio och Rymd, Chalmers

**Elenergi för Västsverige, IVA F5-65, Göteborg  
2008**

# Fusionsforskning

## Varför fusion?

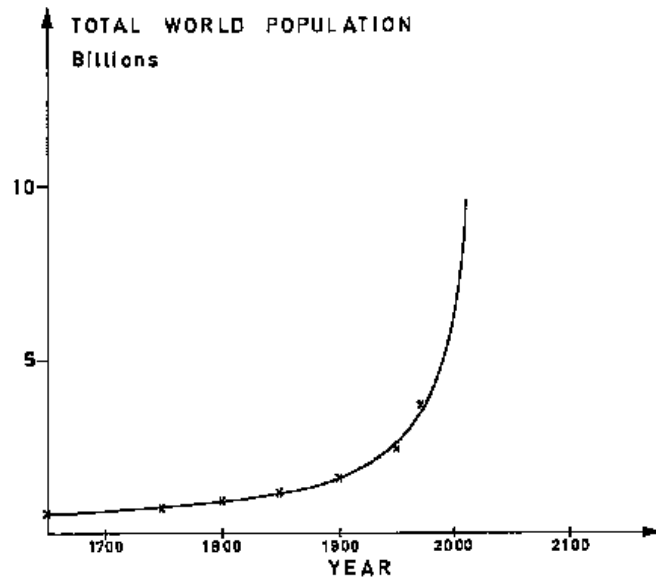
Termonukleär fusion har förutsättningar att bli en outsinlig källa av ren energi med en enastående potential för ett hållbart samhälle.

Förnybara energislag kommer inte att räcka till när utvecklingsländerna samtidigt ökar sin folkmängd och levnadsstandard.

Inte ens för Europa räknar man med att mer än 50% av energiproduktionen kan komma från förnybara energislag år 2100 (EU-kommissionens studie "Energy Futures-The role of research and technological development" 2006)

En av de viktigaste fördelarna med fusion är att alla länder kan bli **självförsörjande** på energi. Detta minskar riskerna för konflikter. "En pålitlig tillgång på energi är en av de viktigaste framtidsfrågorna" (Britt-Marie Mattson GP Sept. 2007. Kopia finns)

# Befolkningstillväxt, ökning av energiförbrukning och CO2



J. Weiland H. Wilhelmsson  
Physica Scripta 10, 257 (1974)  
Critical time around 2030

## 1.1 Situations Surrounding Energy Enterprises and Energy Options in the 21<sup>st</sup> century and Beyond (1) Emissions of Carbon Dioxide and Global Warming

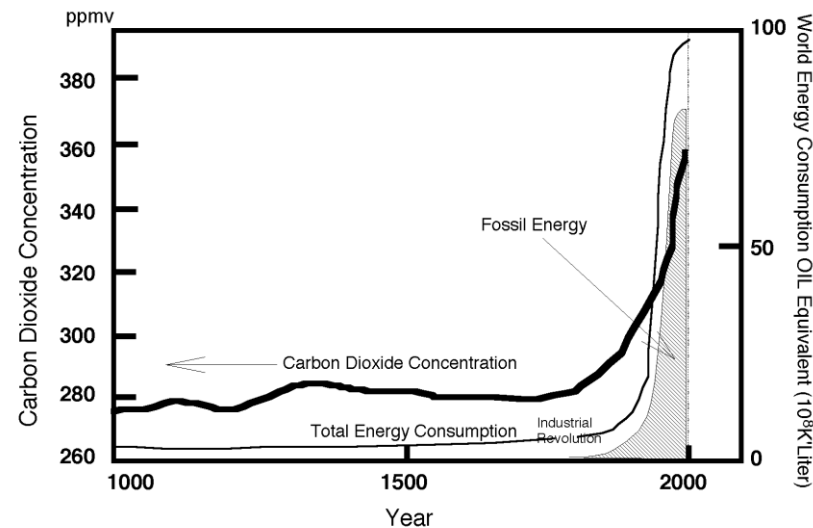


Fig. 1.1-1 Total energy consumption by humankind and variation of atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations [1.1-3]

Central ITER Team, Naka 2000

Critical time around 2030 !

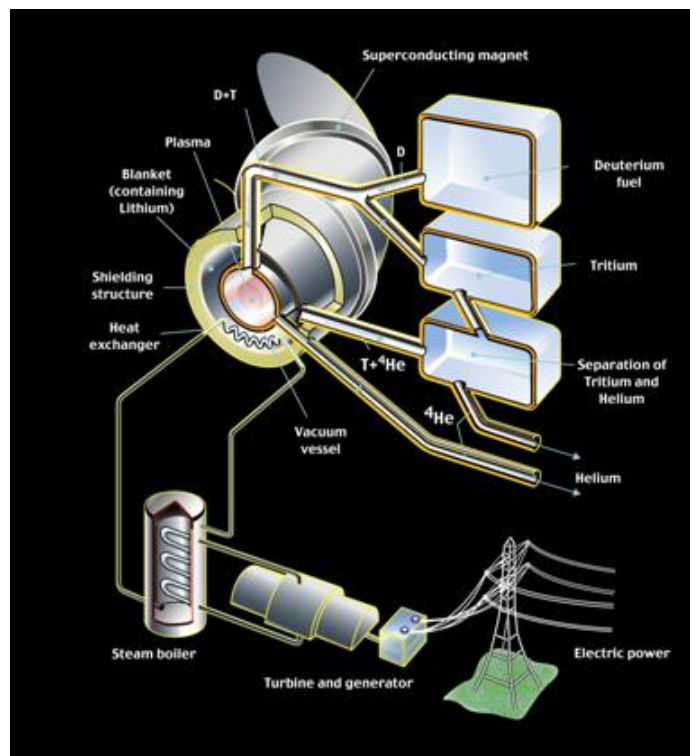
# Global utveckling

Det finns tydligen en stark koppling emellan befolknings utveckling och tillväxt av CO<sub>2</sub>. Det är viktigt att inse att detta är ett **globalt** problem. Sverige drabbas lika hårt som Indien och Kina om dessa länder ökar sin koleldning. Vi hjälper därför oss själva genom att bidra till att lösa det globala energiproblemet även om vi inte har ett akut energiproblem i Sverige

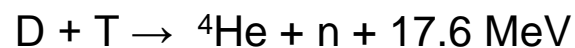
- **Energi i Västsverige.**

Sverige är glest befolkat och har tillgång till stora ytor för förnybara energilag. Fördelen med att använda fusion begränsas därvid lokalt till att landskapet inte behöver byta utseende. En ersättning av befintliga kraftverk med fusionskraftverk skulle **öka** energiproduktionen utan att ta i anspråk större ytor. Samtidigt skulle farliga utsläpp minska.

# Fusionsreaktor



Den första generationen av fusionsreaktorer kommer att använda D-T reaktionen



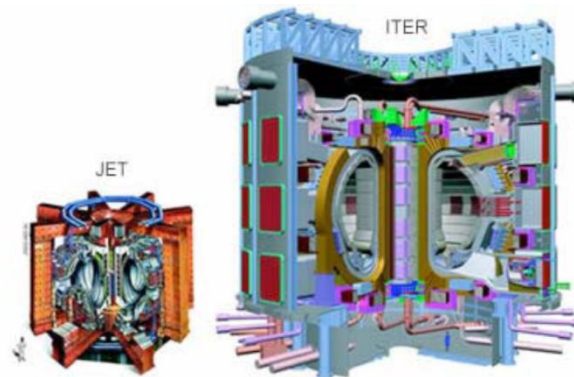
# JET - ITER

**JET** betyder *Joint European Torus*. Detta är ett EU projekt placerat i Abingdon strax söder om Oxford i England.

**JET** har nått "scientific breakeven" (extrapolerat från prestanda med enbart Deuterium) 1989 och omkring  $Q=0.9$  ( $Q$ =fusionseffekt/instoppad effekt) faktiskt resultat med Deuterium och Tritium 1997. **JET** är fortfarande världens största tokamak med en storradie på 3 m.

**ITER** är det nya internationella projektet för att studera en maskin med den dominerande upphettningen från fusionsreaktioner. Den ursprungliga betydelsen av namnet är *International Thermonuclear Experimental Reactor*. Den har just börjat byggas i Cadarache i Frankrike

**ITER** är ett gemensamt projekt emellan EU, Japan, USA, Ryssland, Kina, Sydkorea and Indien



# Effektbalans i en reaktor

- Villkoret för effektbalans "break even" i en fusionsreaktor kan skrivas:
- $n T \tau > 10^{20} \text{ Kev s/m}^3$
- Där  $n$  är medeltätheten,  $T$  är medeltemperaturen och  $\tau$  är inneslutningstiden för energin. Denna produkt kallas fusionsprodukten.  
  
För självuppehållande reaktioner "tändning" fordras 5 gånger så stor fusionsprodukt.
- $n T \tau > 5 \cdot 10^{20} \text{ Kev s/m}^3$
- Fusionsprodukten, erhållen i laboratorieexperiment, har under 30 år växt lika snabbt som kapaciteten hos superdatorer (Moore's lag).

# Roadmap – Fast Track

Today's Physics and Technology Experiments  
(JET+ smaller devices)

Numerical Tokamak

**ITER**

Design / Construction / Physics Studies / Tech Studies

**IFMIF**

International Fusion Materials Irradiation Facility

Design / Construction / Operation: priority materials      other materials

**DEMO**

Concept Design / Detailed Design / Construction / Operation Phase 1 / Phase 2

2000

2010

2020

2030

2040



# DEMO parameters: factors in Cost of Electricity

- DEMO Phase 2 is the last stage before Commercial Power Plant - we must consider **Cost of Electricity (CoE)**.
- PPCS studies reveal Relatively simple scaling can be developed for Cost of Electricity (CoE).
- CoE depends on:
  - capital cost and hence size of 'nuclear island' (magnets, vacuum vessel, vessel contents)
  - Operational parameters:

$$\text{CoE} \propto \left(\frac{1}{A}\right)^{0.6} \frac{1}{\eta_{th}^{0.5} P_e^{0.4} \beta_N^{0.4} n^{0.3}}$$

Availability

Thermodynamic efficiency

Net electrical power

Physics - high  $\beta$ , high density

A  
te



UKAEA



# Energikostnad för fusion

- Energikostnaden för fusion kan grovt uppdelas i:
  - **Kapitalkostnad** **70%** (huvudsakligen magnetspolar)
  - **Drift och underhåll** **12%**
  - **Utbyte av yttre sköld** **16%**
  - **Nedmontering** **0.16 %**
  - **Bränsle** **0.04 %**

Det upptäcktes nyligen att utbyte av yttre skölden måste ske betydligt oftare än man först trott . Detta ledde till en reduktion av kapitalkostnaden från 80% till 70% men bara en ökning av energikostnaden från 70 till 80 öre/KWh för en reaktor på 1 GW. Enligt skalningslagen skulle vi behöva en reaktor på ca 5GW för att komma ner i 40 öre/KWh men forskningen på plasmainslutning går snabbt framåt så vi förväntar oss mera effektiva system i framtiden. För detta kräves också en förbättring av magnetfältsgeometrin vid yttre väggen så att väggbelastningen minskar.

Kostnaden för att bygga ITER blir ca 5 Miljarder Euro.

Vi noterar att bränslet är nästan gratis. För att täcka en medelsvensks totala konsumtion av elenergi under en medellivslängd av 75 år skulle det gå åt 10 g Deuterium och 15 gram Tritium!

# Sammanfattning

- För första gången under fusionsforskningens historia finns det nu en bred internationell uppslutning kring ett **utvecklingsprogram** för **fusion** med ett **fixerat** tidsschema.
- En demonstrationsreaktor skall inom 35 år ha demonstrerat **fusionens** användbarhet som energikälla i laboratoriet (det fungerar redan i solen).

Finansieringen för det första steget **ITER** är redan klar.

**Fusion** är den mest lovande lösningen på det globala energiproblemet för ett uthålligt samhälle. Dessutom kan alla länder bli självförsörjande.

**Fusion** kommer att behövas för att rädda miljön globalt och därmed även i Västsverige.

**Lokala** fördelar är att vi inte behöver ändra landskapet. Vi behöver bara ersätta befintliga kraftverk med fusionskraftverk!