



## Om fusions- energi

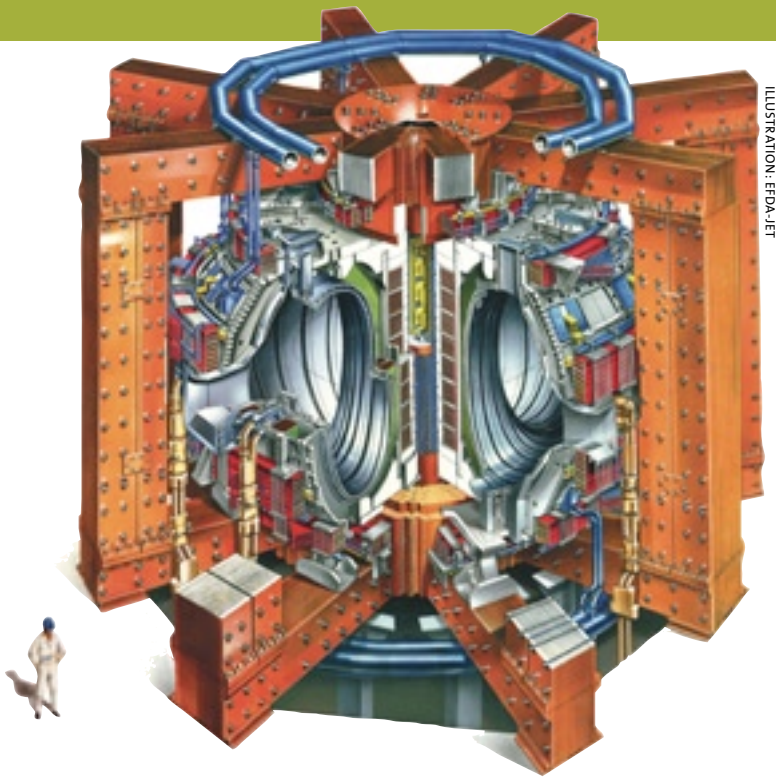
Energibrist och miljöförstöring har ökat intresset för nya hållbara energikällor. En av dessa är fusionsenergi, den energiform som håller solen vid liv. Reaktorer baserade på fusion skulle ha tillgång till närmast obegränsade energireserver och inte leda till miljöfarligt avfall. Framsteg görs hela tiden inom fusionsforskningen och nu förbereds ett internationellt experiment för fullskaliga studier av en fusionsreaktor. Om allt går enligt planerna kan en första kommersiell reaktor vara klar omkring år 2050.

**I DAGENS KÄRNKRAFTSREAKTORER** klyvs tunga urankärnor för att frigöra energi. Framtidens fusionsreaktorer ska istället bygga på sammanslagning av lätta atomkärnor. Sådana reaktioner håller liv i vår sol och andra stjärnor där fyra vätekärnor slås samman till helium. Det skapar ett stort överskott av energi, eftersom heliumkärnan är starkare bunden.

Sammanslagningen av enkla vätekärnor är dock en relativt långsam reaktion och är endast av praktiskt intresse i solens inre. Den första generationen av fusionsreaktorer är därför tänkt att baseras på den betydligt snabbare reaktionen mellan de tyngre väteisotoperna deuterium och tritium – som förutom en proton har en respektive två neutroner i atomkärnan. Deuterium finns i närmast obegrän-

### SAMMANFATTNING

- ✘ Världens framtida energiförsörjning måste tryggas med uthållig energiproduktion. Fusionsenergin kan bli ett viktigt komplement till förnybara energikällor.
- ✘ Fusionsenergin lämnar inget bidrag till växthuseffekten.
- ✘ Bränslereserverna är mycket stora.
- ✘ En härdsmälta kan inte förekomma och långlivat radioaktivt avfall produceras inte.
- ✘ Fusionsforskningen har gjort stora framsteg, även om omfattande forskningsinsatser återstår.



**Figur 1.** Den nu största tokamakreaktorn JET (Joint European Torus) finns i Culham, Storbritannien och togs i bruk 1983. Bland viktiga forskningsresultat är att en fusionseffekt på 20 megawatt uppnåtts under flera minuter. Det ringformade plasmat skapas i den badringslika reaktortanken som har en medelradie på tre meter.

**Figur 2.** Fusion innebär att lätta atomkärnor slås samman till tyngre, samma process som sker i solen och andra stjärnor. Fission som sker i kärnkraftverk innebär istället att tunga atomkärnor klyvs till lättare atomkärnor.

sad mängd i vanligt vatten, medan tritium bildas inuti reaktorn då neutroner från fusionsreaktionen bombarderar väggarna som innehåller litium. Även tillgången på litium är mycket god; jordens reserver skulle räcka för att täcka nuvarande global energikonsumtion i cirka 300 000 år.

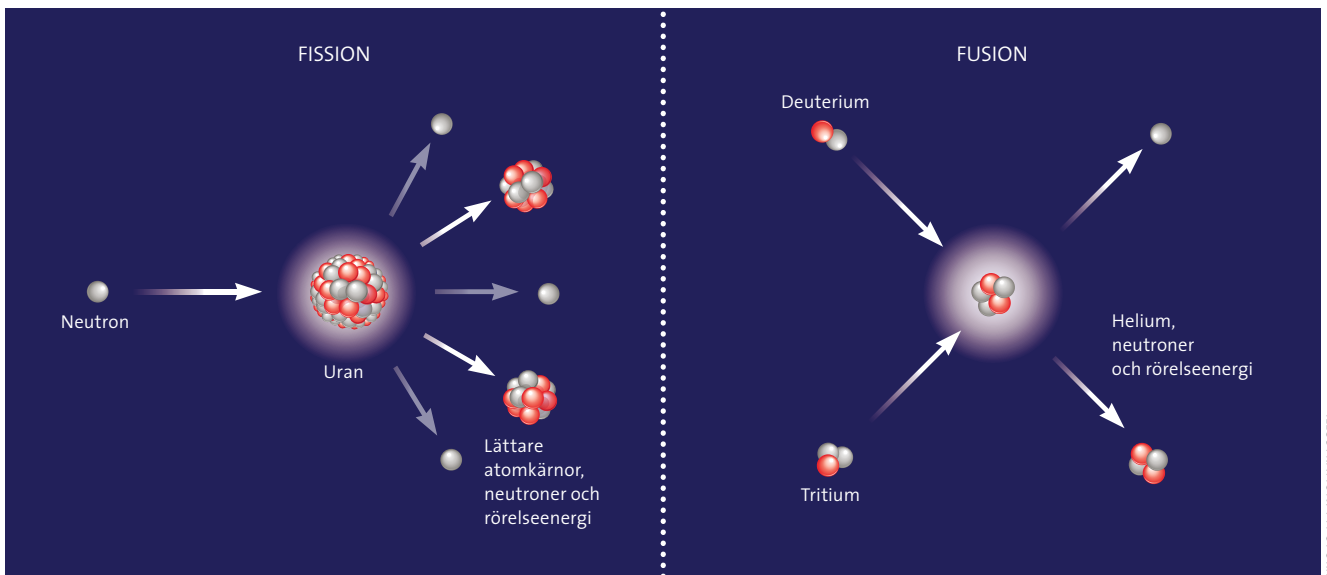
Energiproduktionen i en tänkt fusionsreaktor sker genom neutroner som frigörs i fusionsreaktionerna. De fångas upp av en omgivande mantel som kyls med vatten. När vattnet hetas upp kan det driva en turbin kopplad till en elektrisk generator.

Ur säkerhets- och miljösynpunkt är fusionsenergi attraktiv därför att:

- *den inte bidrar till växthuseffekten*
- *stora energireserver* är tillgängliga och de är inte geografiskt begränsade
- fusionsreaktorn har en *inneboende säkerhet* genom att endast en liten mängd bränsle finns i reaktionszonen, ingen härdsmläta är möjlig
- *inget långlivat radioaktivt avfall* produceras och reaktorinnehållet är litet så de biologiska riskerna vid en eventuell olycka är små

**SEDAN 1950-TALET** har ett antal möjligheter prövats för att utvinna kontrollerad fusionsenergi. Den hittills mest framgångsrika är het fusion. Här hetas bränslet upp och sönderdelas i sina beståndsdelar, joner och elektroner; ett så kallat *plasma*. Atomkärnor är positivt laddade och stöter bort varandra. Därför måste plasmat ha en temperatur på hundratals miljoner grader så att atomkärnorna rör sig med tillräckligt hög hastighet för att kunna komma nära varandra och ge upphov till kärnreaktioner.

Plasmat måste även vara extremt väl isolerat från omgivande väggar för att inte förlora sin värme. En möjlighet är att innesluta plasmat i ett starkt magnetfält (magnetflaska). En annan teknik för het fusion innebär att små bränslekorn snabbt förvandlas till ett hett plasma genom att utsättas för intensiva och korta pulser från lasrar eller partikelstrålar (tröghetsinneslutning).



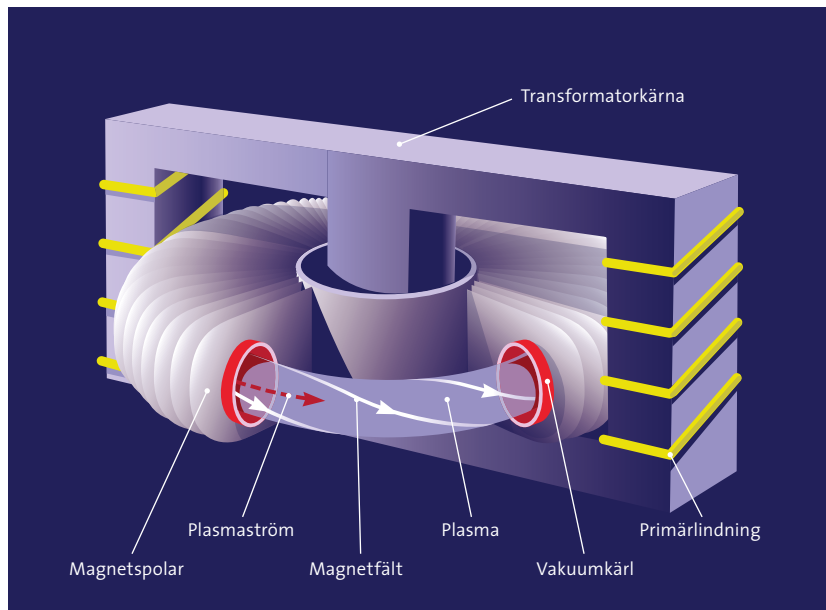
Förutom het fusion finns andra former av fusion: sonofusion, myoninducerad fusion och kall fusion. Den sistnämnda formen av fusion har inte kunnat bekräftas efter experimenten i Utah USA 1989 vare sig experimentellt eller teoretiskt.

**NÄR DET GÄLLER ATT TÄMJA** het fusion sätts det framförallt på teknik som bygger på magnetflaskan. Forskningen för att få den att fungera omfattar ett komplex av frågeställningar, från ren grundvetenskap till fusionsteknologi, och vidare till praktiska problem i samband med reaktordrift. De storskaliga fusionsexperimenten kräver dyra anläggningar och sker därför inom olika internationella samarbeten.

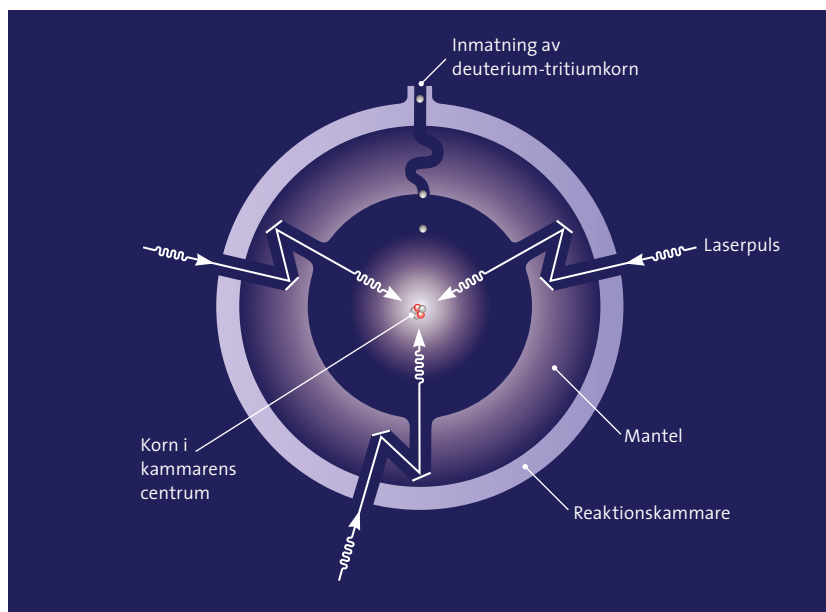
En framgångsrik typ av magnetflaska är den så kallade *tokamaken* (namnet kommer från ryskans förkortning för ringformig magnetisk kammare) där plasmat hålls fångat i just en ringformad konstruktion av starka magnetpolar.

Världens hittills största tokamak, Joint European Torus (JET), finns i Culham, Storbritannien. I JET, på bild inledningsvis, och andra stora tokamaker har forskare under korta stunder skapat plasmatemperaturer på upp till 300 miljoner grader, flera gånger varmare än solens inre och långt över erforderlig antändningstemperatur för fusionsreaktionen. Nästa utmaning är att få hög partikeltäthet och bra isolering mot väggarna i tokamaken. För att skapa ett stabilt plasma vid JET måste den frigjorda energin i fusionsreaktionen långvarigt vara lika stor som den energi som krävs för att bibehålla den höga temperaturen. Detta europeiska samarbetsprojekt som inleddes 1983 har gett flera värdefulla forskningsresultat. Bland annat har en fusionseffekt på ca 16 megawatt uppnåtts under cirka en sekund. Det ringformade plasmat som skapas i den badringslika reaktortanken har en medelradie av tre meter.

**ÄNNU ÅTERSTÅR MYCKET** stora forskningsinsatser för att få en fusionsreaktor att fungera och producera energi. Strategin för fortsatt utveckling



**Figur 3.** Skiss över het fusion i en magnetflaska av tokamaktyp. Plasmat genereras och upphettas i en badringsformad kammare, samt inneslutes i ett spiralformat magnetfält.



**Figur 4.** Skiss över het fusion vid tröghetsinneslutning där små bränslekorn omvandlas till plasma i en korseld av intensiva och korta laserpulser.

av tekniken består i att genomföra projektet International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER). Bygget av reaktorn beslutades 2005 av EU, USA, Japan, Ryssland, Kina, Sydkorea och Indien. ITER uppförs i Cadarache, Frankrike och beräknas kosta 5 miljarder euro. Sverige bidrar till uppbyggnaden av ITER med cirka 60 miljoner kronor per år, huvudsakligen inom ramen för EU:s ramprogram Euratom.

**INFORMATION FRÅN KUNGL. VETENSKAPSAKADEMIENS ENERGIUTSKOTT.** Med den här informationsserien vill KVA föra ut Energiutskottets syn i aktuella frågor samt betona argument baserade på vetenskaplig forskning som ett oundgängligt inslag i samhällsdebatten.

Reaktorn beräknas stå klar 2015 för experiment med plasmapulser som varar i flera minuter och vid en fusionseffekt av 500 MW – 25 gånger mer än i JET. Den fortsatta forskningen handlar bland annat om växelverkan mellan plasma och reaktorväggar för att kunna undvika att partiklar som frigörs från omgivande material förorenar och kyler plasmat. Målet är att kortvarigt få fusionsreaktioner som frigör tio gånger mer energi än vad som krävs för att hålla plasmat hett.

**FÖRUTSATT ATT RESULTATEN** från ITER blir de förväntade, blir näs-

ta steg en demonstrationsreaktor, DEMO, med planerad byggstart omkring år 2025. Jämfört med ITER ska denna reaktor bli kraftproducerande och vara i kontinuerlig drift. Därefter kommer enligt nuvarande planer en första kommersiell reaktor att kunna börja byggas och vara i drift omkring 2050. En senare generation reaktorer skulle kunna baseras enbart på reaktioner mellan deuteriumkärnor. De stora tillgångarna på deuterium skulle då kunna trygga mänsklighetens energiförsörjning under en tid jämförbar med solsystemets ålder. Deuteriumreaktorn är dock mycket svårare att ut-

veckla eftersom den måste arbeta med betydligt högre temperatur och ännu bättre värmeisolation.

**UNDER DEN FORTSATT** utvecklingen av fusionstekniken är, förutom de stora internationella projekten, även verksamheten vid nationella forskningslaboratorier av vital betydelse. Den senare består i grundforskning och utveckling av förbättrade tekniska koncept samt utbildning och träning av forskare och ingenjörer inom området. Svensk fusionsforskning är internationellt framgångsrik och bedrivs framför allt i Stockholm, Göteborg, Uppsala och Studsvik.

## Frågor & svar

### VAD ÄR ISOTOPER?

De är olika former av samma grundämne som har olika antal neutroner och därmed olika masstal.

### HUR STORA ÄR BRÄNSLERESERVERNA FÖR FUSIONSENERGI?

För den närmast aktuella deuterium-tritiumreaktionen skulle kända förekomster av litium kunna täcka nuvarande global energikonsumtion i flera hundra tusen år.

### KAN EN OLYCKA JÄMFÖRD MED EN HÄRDSMÄLTA UPPSTÅ I EN FUSIONSREAKTOR?

En skenande kärnreaktion kan inte uppkomma. Bara små mängder aktivt bränsle finns i reaktionszonen. En olycka i en fusionsreaktor skulle kunna sprida lågaktiverat material i form av tritium med förhöjd radioaktivitet i närområdet under begränsad tid.

### BILDAS RADIOAKTIVT AVFALL VID FUSION?


Själva bränslet är inte radioaktivt. Neutroner som bildas i fusionsprocesserna kolliderar med material i reaktorn och ger upphov till sekundär radioaktivitet, men genom val av lågaktiverade väggmaterial avklingar den till ofarliga nivåer efter endast tio till hundra år beroende på materialval.

### VARFÖR ÄR DET SÅ SVÅRT ATT FÖRVERKLIGA FUSIONSREAKTORN?

Fusionsforskningen omfattar ett stort komplex av svåra vetenskapliga och tekniska problem. Temperaturer högre än i solens inre måste uppnås och det heta bränslet får inte komma i kontakt med omgivande väggar som då smälter och "förgiftar" plasmat. Möjligheterna att nå resultat beror även på ekonomiska resurser och politisk vilja.

### VAD SKULLE ELEKTRICITET FRÅN EN FUSIONSREAKTOR KOSTA?

Den rena driftskostnaden är jämförbar med den för dagens kärnkraftsreaktorer. Att bygga en fusionsreaktor kräver dock mycket stora investeringar. Det gör att kostnaden inledningsvis beräknas bli ungefär dubbelt så hög som för dagens kärnkraft per utbyggd kWh.

**KVA:S ENERGIUTSKOTT** anser att de förväntade framtida behoven av hållbar och materialsnål energitillförsel kräver en kraftfull fortsatt satsning på energiforskning, inkluderande fusionsforskning såväl i stora internationella samarbetsprojekt som vid nationella laboratorier och universitet. 

Information från Kungl. Vetenskapsakademiens  
**ENERGIUTSKOTT NO 3 • SEPTEMBER 2007**

#### KUNGL. VETENSKAPSAKADEMIENS

**ENERGIUTSKOTT:** Sven Kullander (ordförande), professor em. i högenergifysik, Uppsala universitet; **Gia Destouni**, professor i hydrologi, hydrogeologi och vattenresurser, Stockholms universitet; **Harry Frank**, professor i innovationsteknik, Mälardalens högskola; **Karl Fredga**, professor em. i genetik, Uppsala universitet; **Bertil Fredholm**, professor i farmakologi, Karolinska Institutet; **Karl Grandin**, t.f. föreståndare, Centrum för vetenskapshistoria; **Peter Jagers**, professor i matematisk statistik, Chalmers tekniska högskola; **Bengt Kasemo**, professor i fysik, Chalmers tekniska högskola; **Rickard Lundin**, professor i rymdfysik, Institutet för rymdfysik; **Karl-Göran Mäler**, professor em. i nationalekonomi, Beijerinstitutet för ekologisk ekonomi; **Kerstin Nilblaus**, generaldirektör vid Europeiska Unionens ministerråd; **Bengt Nordén**, professor i fysikalisk kemi, Chalmers tekniska högskola

**KONTAKTPERSON:** Kerstin Löfström, tel: 08-673 95 25, e-post: kerstin.lofstrom@kva.se

Vi uppmanar till ytterligare användning av vår text, men ange gärna källan!

Beställ fler ex från info@kva.se. Skriften kan även laddas ner från www.kva.se.

**LAYOUT & GRAFIK:** AB Typoform

**TRYCK:** Stockholms Läns Grafiska AB