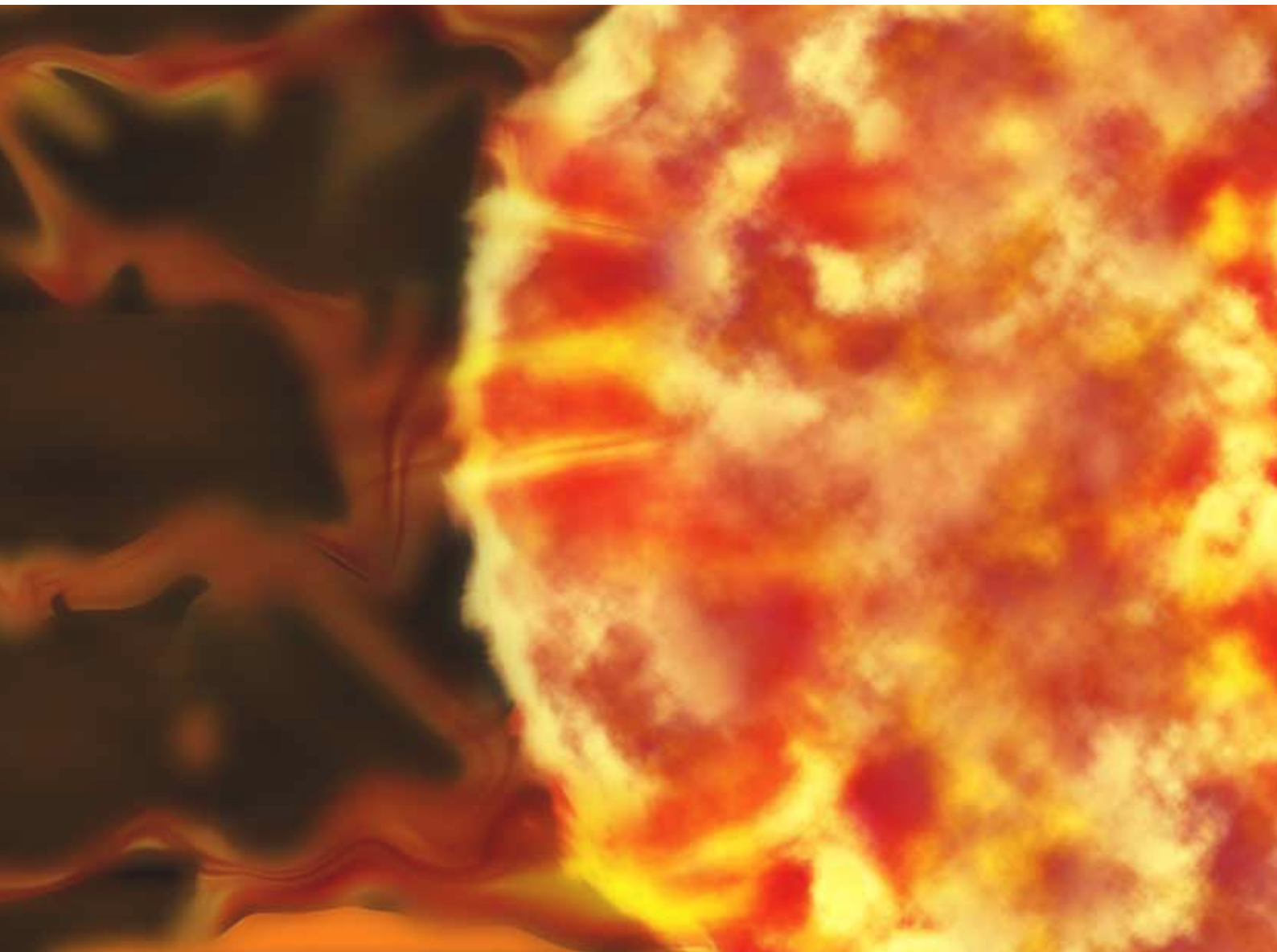


# Kernfusie

De energie van de zon en de sterren op aarde



# SCK•CEN

## **Samenstelling**

SCK•CEN, Studiecentrum voor Kernenergie

## **Met bijdragen en ondersteuning van**

Roel Dillen

Vincent Massaut

Ellen Van Roey

Anne Verledens

# SCK•CEN

# Kernfusie

De energie van de zon en de sterren op aarde

---

	Inleiding	4
1.	Wat is kernfusie?	5
2.	Veiligheid	8
3.	Even terugblikken in de geschiedenis	10
4.	Het SCK•CEN en kernfusie	14
5.	Besluit	20
6.	Interessante websites	21

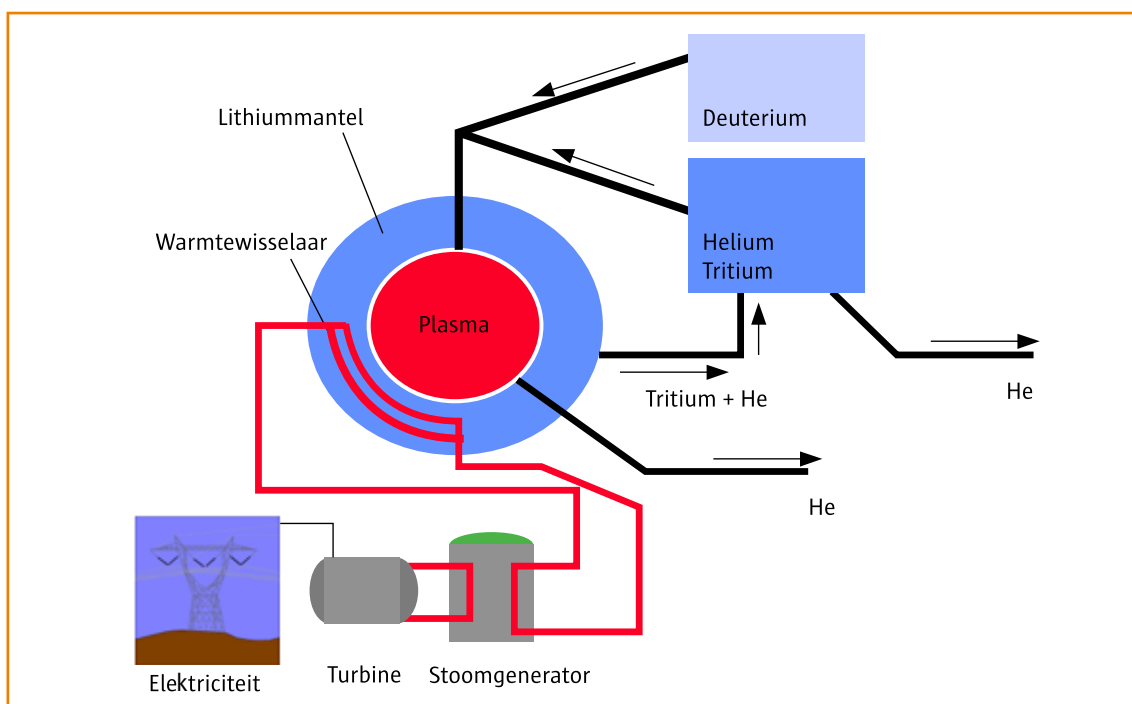
# Inleiding

Meerdere scenario's voorspellen dat het energieverbruik in 2050 twee- tot driemaal zo hoog zal zijn als vandaag.

Deze scenario's zijn gebaseerd op een geschatte groei van de wereldbevolking en een aanhoudende globale economische ontwikkeling, meer bepaald in de opkomende groeielanden. Om te kunnen voorzien in de verwachte behoeften, moeten alle mogelijke energiebronnen en energiebesparende maatregelen ingezet worden. Ze zullen allemaal een rol spelen, elk met hun voor- en nadelen, afhankelijk van de beschikbaarheid, de verdeling ervan over de wereld en de impact op het milieu en de veiligheid.

Kernfusie is een bron van energie die elektriciteit zou kunnen leveren op grote schaal. De technologie is veilig, CO<sub>2</sub>-neutraal en produceert geen langlevend radioactief afval. Omdat een duurzame energietoekomst essentieel is voor ons en de komende generaties, doet het SCK•CEN onderzoek naar kernfusie.

De wetenschappelijke uitdagingen om kernfusie te realiseren, zijn vandaag nog zeer groot. Om in de tweede helft van deze eeuw energie te kunnen opwekken met fusietechnologie, wordt op dit ogenblik in Cadarache (Zuid-Frankrijk) een eerste experimentele reactor gebouwd: ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor). Dit project is de laatste fase vóór het industriële demonstratiemodel DEMO.



# 1

## Wat is kernfusie?

---

**Kernfusie is de samensmelting van verschillende lichte atoomkernen tot een nieuwe zwaardere kern.**

Het samensmelten van atoomkernen is niet gemakkelijk want door hun gelijksoortige positieve lading stoten de kernen elkaar af en dit belemmert een mogelijke kernfusie. Fusiereacties kunnen toch voorkomen als de kernen voldoende energie hebben zodat ze die wederzijdse afstoting overwinnen.

### **Miniatuurzonnen op aarde**

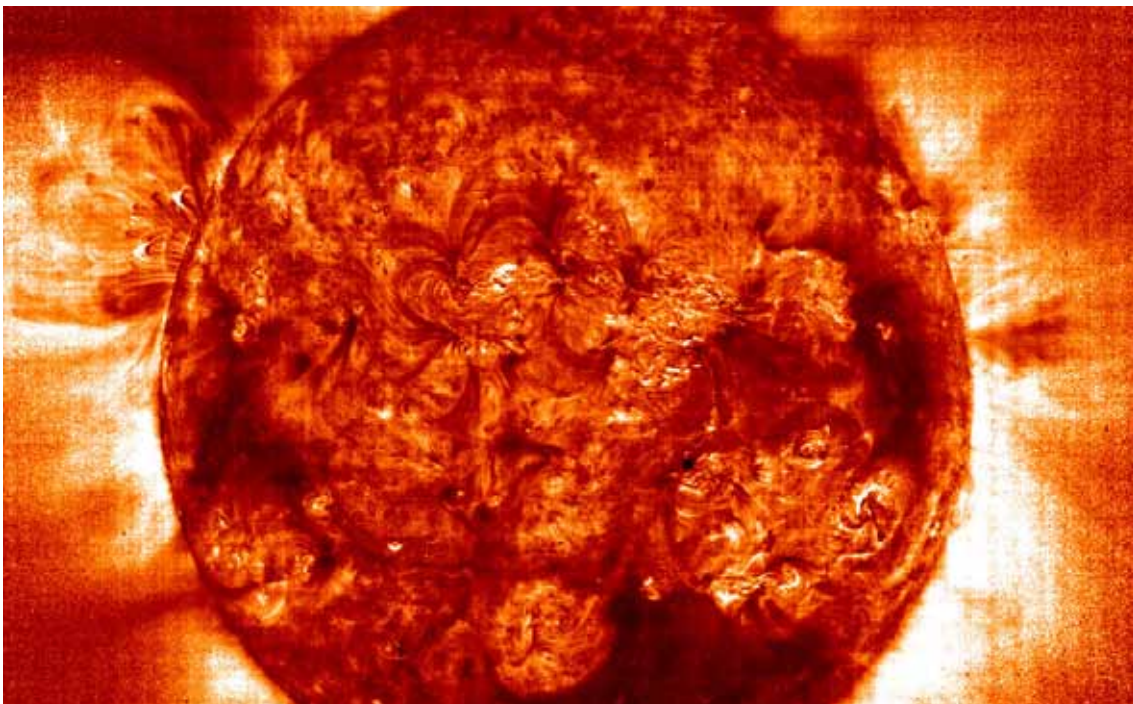
Kernfusie is het proces dat plaatsvindt in de zon en de sterren. De zon levert al miljarden jaren energie en zal dat nog miljarden jaren doen. Elke seconde wordt zo'n 600 miljoen ton waterstof

omgezet in 596 miljoen ton helium. Vier miljoen ton materie verdwijnt daarbij in de vorm van energie. Een gigantische hoeveelheid maar toch klein in vergelijking met de reserve aan waterstof in de zon.

Helaas is het niet mogelijk om miniatuurzonnen op aarde te bouwen omdat we het energie-productiesysteem van de zon niet kunnen nabootsen. De druk is er zo hoog dat fusie kan optreden bij 15 miljoen graden. Omdat zulke hoge druk niet haalbaar is op aarde, moeten we werken bij temperaturen die tien maal hoger zijn: 100 tot 200 miljoen graden Celsius.

**Om op aarde kernfusie te realiseren, moeten we zeer hoge temperaturen en/of een extreem hoge druk verwezenlijken.**

*Temperatuurkaart van de corona van de zon: de lichtste delen zijn het heetst. © EIT Consortium (ESA/NASA)*



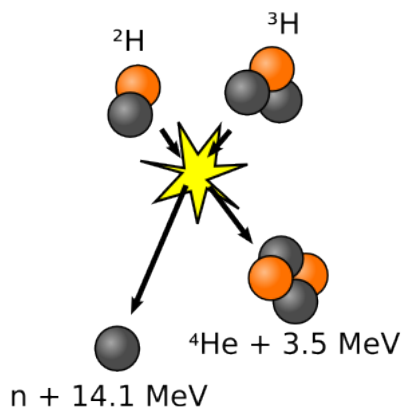
## De brandstof

Kernfusie is mogelijk via de samensmelting van meerdere lichte atoomkernen. De deuterium-tritium reactie is het makkelijkst te realiseren: een deuteriumkern en een tritiumkern worden omgezet in een heliumkern, een neutron en energie.

Deuterium (D) en tritium (T) zijn isotopen van waterstof (H). Een isotoop is een atoom van een chemisch element met hetzelfde aantal protonen maar met een verschillend aantal neutronen. Isotopen hebben hetzelfde atoomnummer en staan op dezelfde plaats in de tabel van Mendelejev, maar ze hebben een verschillende massa. Deuterium is waterstof (H) met 1 neutron ( $^2\text{H}$ ) en tritium is waterstof met 2 neutronen ( $^3\text{H}$ ).

Deuterium zit in grote hoeveelheden in zeewater. Uit een liter zeewater kunnen we evenveel energie halen als uit zo'n 340 liter benzine. Tritium kunnen we produceren uit lithium dat ook onttrokken wordt uit zeewater of uit de aardkorst. Bovendien is het eindproduct van de reactie helium ( $^4\text{He}$ ), een vrijwel onschadelijk edelgas, en produceert kernfusie geen langlevend radioactief afval.

Deuterium-tritium reactie:  $D + T \Rightarrow ^4\text{He} + n + 17,6 \text{ MeV}$



Omdat de brandstof gewonnen wordt uit zeewater dat zowat wereldwijd overvloedig aanwezig is, zal de mens dankzij kernfusie kunnen beschikken over een haast onuitputtelijke energiebron.

## Kernfusie onder extreem hoge druk: inertiële fusie

Een manier om kernfusie te realiseren op aarde is de inertiële fusie. De reactie komt tot stand in een brandstofdruppeltje met een diameter van enkele tienden van een millimeter, gevuld met gelijke hoeveelheden deuterium en tritium. Met krachtige laserstralen wordt dit druppeltje in een paar miljardsten van een seconde homogeen verhit. De buitenste schil van de brandstof verdampt daarbij zo snel dat een schokgolf ontstaat, met een enorme drukverhoging aan de binnenkant van het brandstofdruppeltje tot gevolg. Dankzij die hoge druk moet men niet meer streven naar zeer hoge temperaturen. Enkele miljoenen graden Celsius zijn "al voldoende" om de kernen te fuseren.

## Kernfusie bij extreem hoge temperatuur: magnetische fusie

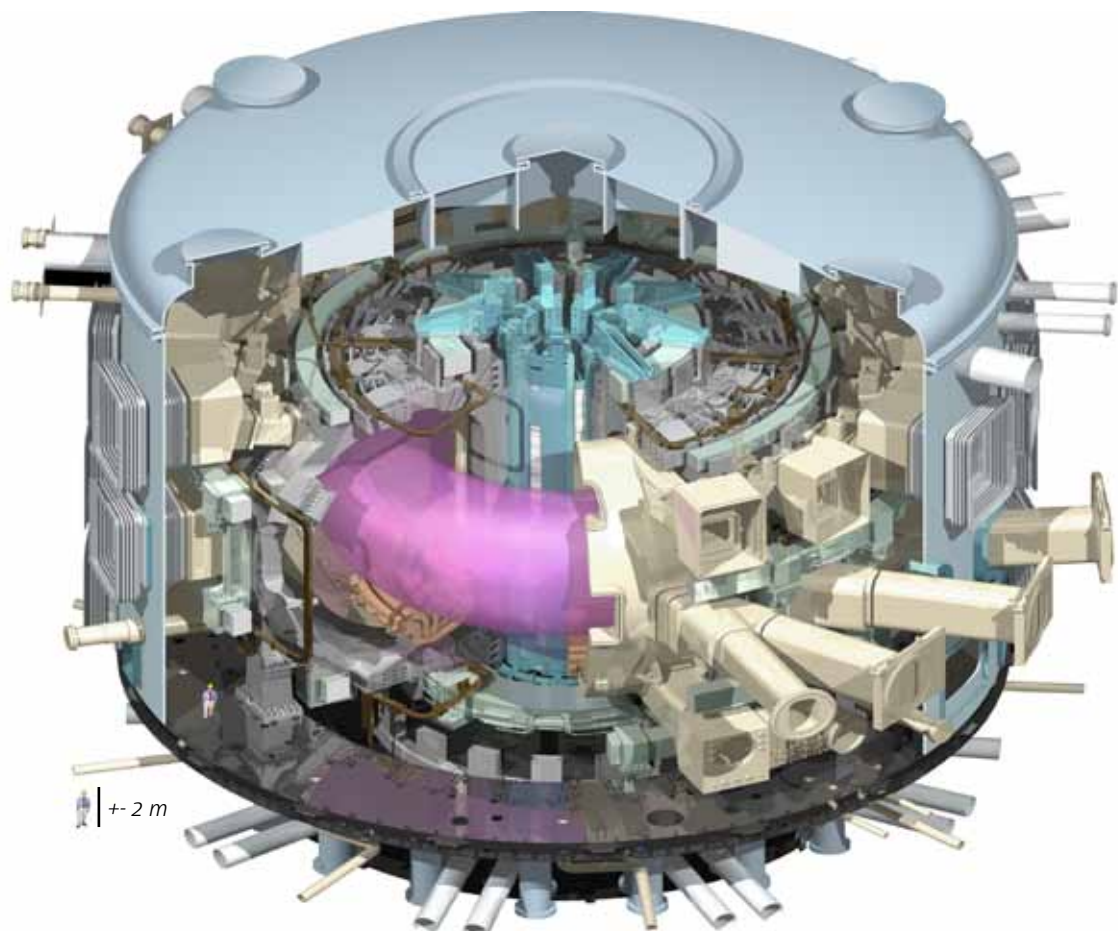
De tweede methode is de magnetische fusie. Tot nu toe blijkt deze zeer geavanceerde techniek het meest succesvol. Om kernfusie tot stand te brengen, moet een mengsel van deuterium en tritium worden verhit tot ongeveer 150 miljoen graden. Bij zo'n hoge temperatuur ontstaat plasma, een volledig of gedeeltelijk geïoniseerd gas. Het is een elektrisch geleidend maar neutraal geheel waarin elektronen en atoomkernen volledig los van elkaar bewegen.

Het zeer hete plasma moet lange tijd op de juiste temperatuur blijven. Het mag ook de wanden van de installatie niet raken want dan zou het te fel afkoelen. Om te voldoen aan deze eisen, ontwikkelden wetenschappers de tokamak.

De naam “tokamak” is een acroniem voor de Russische woorden “TOroidal’naja KAMERA s MAgnitnymi Katushkami”, vrij vertaald: torusvormige kamer met magnetische spoelen.

In een tokamak wordt het plasma in een donutvormig vacuüm vat bij elkaar gehouden door krachtige magneetvelden en verhit.

*Doorsnede van de ITER-tokamak met het hete plasma in het midden (in roze). © ITER Organization*



# 2

## Veiligheid

---

Bij de ontwikkeling van fusietechnologie is de veiligheid van de werknemers, de bevolking en het milieu een essentieel aandachtspunt.

### Tritium opsluiten

De kernfusiebrandstof tritium is een radioactieve stof (bèta-straler) met een halveringstijd van 12,3 jaar. Tritium komt slechts beperkt voor in de natuur maar kan bereid worden door lithium met neutronen te bestralen. In combinatie met zuurstof, bijvoorbeeld van lucht, vormt tritium getritieerd water ( $T_2O$ ). Dat heeft in geval van accidentele lichamelijke inname een biologische halveringstijd van 10 dagen. Dit is veel korter dan bij andere isotopen die niet onder watervorm voorkomen.

Als er tritium zou vrijkomen in de omgeving van de fusiereactor, kan de bevolking blootgesteld worden aan straling. Daarom hecht elk concept veel belang aan het opsluiten van tritium. Het probleem van een tritiumlozing valt te omzeilen door te opteren voor een andere brandstof, bijvoorbeeld deuterium of helium-3. Dat is wel makkelijker gezegd dan gedaan, want deze stoffen vereisen veel hogere temperaturen om tot kernfusie te komen. Bovendien is helium-3 niet zomaar voorhanden op aarde.

### Straling en activatie

De eindproducten van kernfusiereacties zijn neutronen en kerndeeltjes zoals helium. Helium is een edelgas zonder gevaar; het is aanwezig in de lucht die we inademen. De vrijgekomen hoog-energetische neutronen bombarderen echter alles wat zich rond het plasma bevindt en maken het radioactief. Dit proces noemen we activatie.

De risico's voor werknemers kunnen sterk beperkt worden door voldoende afscherming rond de reactor en door strikte toegangsregels. Dankzij gepaste materiaalkeuzes, bijvoorbeeld ijzer-chroom en wolframlegeringen kunnen we de hoeveelheid geproduceerde radioactiviteit aanzienlijk verminderen en controleren. Een aantal geactiveerde onderdelen zal men tijdens de normale levensduur van de reactor moeten vervangen. Om de radiologische impact op het personeel te minimaliseren, zal dat gebeuren door robots via telemanipulatie.

### Radioactief afval

Een fusiereactor produceert geen langlevende radioactieve elementen zoals een kernsplijtings- of fissiereactor waar bijvoorbeeld de brandstof (splijtstof) tot honderdduizenden jaren radioactief blijft. In een fusiereactor moeten echter bepaalde componenten meerdere keren vervangen worden. Dit zorgt wel voor een afvalstroom van geactiveerd materiaal maar de halveringstijd ervan is veel korter: slechts enkele tientallen jaren.

Het volume aan nucleair afval zal groter zijn dan bij een fissiereactor omdat er meer vervangingen nodig zijn. Op lange termijn is de radiotoxiciteit veel lager.

Radiotoxiciteit is een maat voor de biologische schade bij lichamelijke inname van een bepaalde hoeveelheid radioactieve stof. Slechts een klein deel van het materiaal van een fusiereactor moet de eerste jaren actief gekoeld worden omdat het warmte afgeeft door de hoge radioactiviteit. Ongeveer 70 procent kan worden gerecycleerd of vrijgegeven na 50 à 100 jaar. We kunnen daarom stellen dat kernfusieafval geen belasting vormt voor toekomstige generaties.

### Risico's bij storingen en defecten

De kans op een ongecontroleerde fusiereactie met radioactieve uitstoot is onbestaande. Vrijwel alle storingen of defecten van de apparatuur leiden tot het stilvallen van de fusiereactie. Zo zal de reactie stoppen als het plasma in de vacuüm-omgeving in contact komt met de wand. Het zal onmiddellijk afkoelen omdat plasma geen thermische inertie (warmte-opslagcapaciteit) heeft wegens de lage dichtheid. Het systeem is ook inherent veilig omdat er slechts een zeer kleine hoeveelheid brandstof in de reactor zit. Als er zich problemen voordoen, volstaat het om de brandstofinjectie te stoppen waarna de reactie stilvalt. Zelfs bij een totaal verlies van koeling blijft de schade beperkt.

**We kunnen een fusie-elektriciteitscentrale zo ontwerpen dat een evacuatie van de bevolking niet nodig zal zijn, zelfs na een heel zwaar ongeval.**

### Nucleaire proliferatie

Een fusiereactor draagt niet bij tot nucleaire proliferatie, dat is de verspreiding van nucleair materiaal met als doel een kernwapen te maken. De kernfusiebrandstoffen deuterium en tritium kunnen enkel ontstoken worden met een "gewoon" kernwapen, dat gebaseerd is op de splijting van uranium of plutonium.

De kennis om zo'n zogenaamde waterstofbom te maken, is slechts in handen van een klein aantal landen. Bovendien controleert het Internationaal Atoomenergieagentschap (IAEA) uranium en plutonium om de verspreiding van kernwapens tegen te gaan en om het vreedzame gebruik van deze stoffen te garanderen, zoals energie opwekken met kernsplijtingsreactoren.

*Het toekomstige ITER-complex op een site van 180-hectare in Cadarache, Zuid-Frankrijk. © ITER Organization  
Op de voorgrond het onderzoekscentrum van CEA (Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives).*



# 3

## Even terugblikken in de geschiedenis

---

Kernfusie spreekt wetenschappers al bijna 100 jaar tot de verbeelding. Hoogstaand internationaal onderzoek maakt de technologie stilaan tastbaar en ook het SCK•CEN draagt zijn steentje bij.

**1920** - Er bestaan vermoedens dat thermische fusie de energiebron is van de zon.

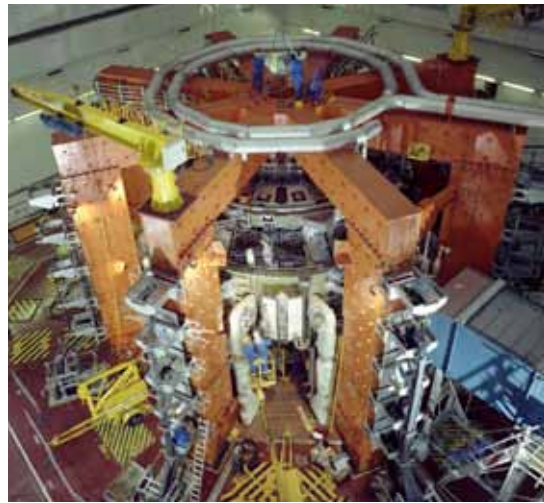
**1934** - Experimenten aan de Universiteit van Cambridge in Engeland bevestigen dat kernfusie met waterstof mogelijk is en dat daarbij energie vrijkomt.

**1950** - De Sovjet fysici Igor Tamm en Andrei Sakharov ontwikkelen de tokamak-technologie waarbij plasma in een donutvormige vacuüm kamer bij elkaar gehouden wordt door krachtige magneetvelden.

**1958** - Het besef groeit dat gecontroleerde magnetische fusie niet geschikt is om wapens te produceren. Het onderzoek wordt gedeclasseerd en de partners en vijanden van de Koude Oorlog, de Verenigde Staten, Europa en Rusland besluiten samen te werken rond fusieonderzoek.

**Jaren 60** - Het concept van de tokamak wordt verder ontwikkeld. In 1972 waren er wereldwijd 17 tokamaks in werking. In 2011 tellen we meer dan 200 van deze en aanverwante installaties.

De tokamak is het meest succesvolle ontwerp tot nu toe. Het dient ook als basis voor de constructie van de experimentele fusiereactor ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) in Zuid-Frankrijk.



*Buitenkant van de Joint European Torus (JET) in het Verenigd Koninkrijk. © EFDA-JET*

**1973** - Door het olie-embargo van OPEC, de Organisatie van olie-exporterende landen, ontstaan er tekorten en rijst de olieprijs de pan uit. Politici realiseren zich plots hoezeer we afhankelijk zijn van oliebronnen en hoe belangrijk energie is voor de economie. Daarom worden de budgetten voor onderzoek en ontwikkeling rond energie drastisch verhoogd. De VS bijvoorbeeld vertienvoudigde het budget voor kernfusie in twee jaar.

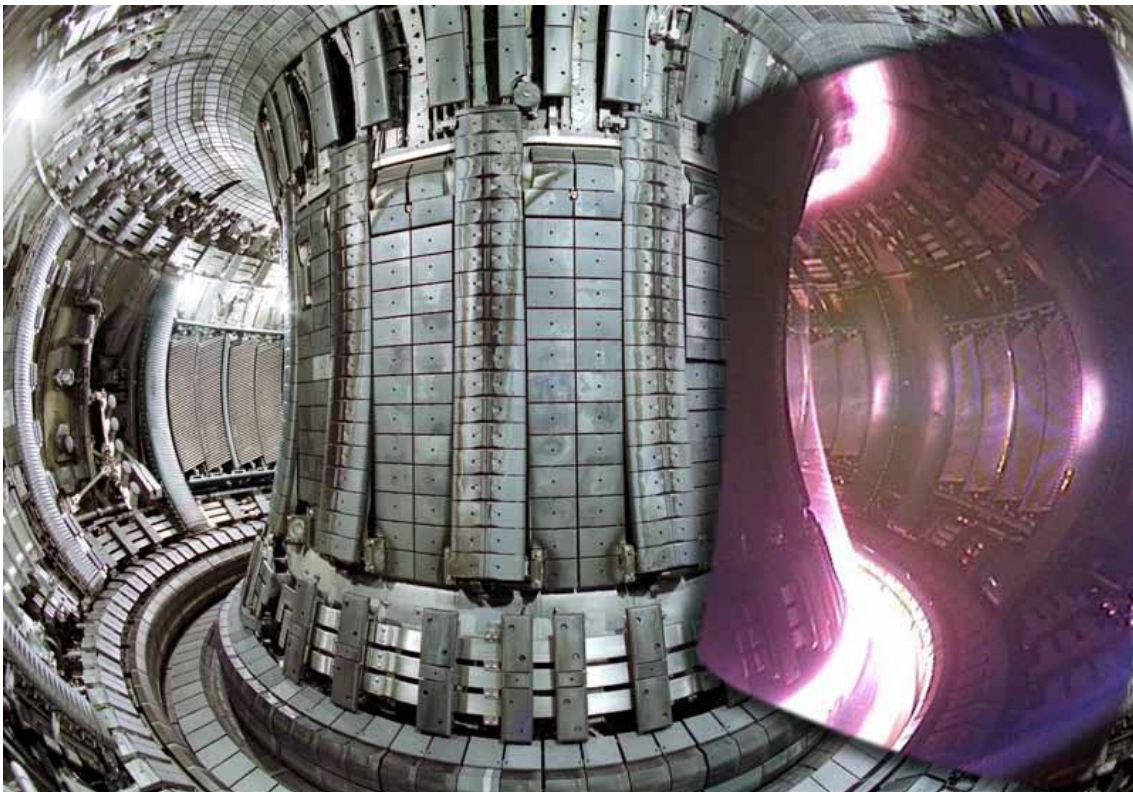
**1976** - De Tokamak Fusion Test Reactor (TFTR) wordt operationeel aan de Princeton Universiteit in de VS. De opdracht was om de deuterium-tritium kernfusie te onderzoeken, de plasmafysica van grote tokamaks te bestuderen en ervaring op te doen met fusiereactortechnologie. Sinds zijn opstart heeft de TFTR belangrijke bijdragen geleverd aan het fusieonderzoek.

**1978** - De Joint European Torus (JET) wordt operationeel in het Verenigd Koninkrijk. De JET, die drie keer zo klein is als het huidige ontwerp van ITER, is vandaag nog steeds de grootste kernfusie-installatie ter wereld. Ongeveer 350 wetenschappers en ingenieurs uit Europa maken deel uit van het JET-team. Dit grote internationale project bewijst dat we kernfusie succesvol en veilig kunnen realiseren. In 1997 werd in de JET 16 megawatt fusievermogen geproduceerd.

**1982** - Canada maakt fondsen vrij voor fusie-onderzoek. Het Canadian Fusion Fuels Technology Project en het Centre Canadien de Fusion Magnétique dragen bij tot nieuwe ontwikkelingen. Later verbinden ze zich in het ITER-Canada consortium, in het leven geroepen om de Canadese kandidatuur voor ITER te bestuderen.

**1985** - De Europese Unie, de Sovjet Unie, Japan en de Verenigde Staten worden het tijdens de top van Genève eens over de samenwerking voor het ontwerp van een kernfusie-installatie, de eerste stap op weg naar ITER.

*Binnenkant van het vacuümvat van de JET met het plasma in roze. © EFDA-JET*



**1986** - In Tsjernobyl (zie ook onze brochure "Tsjernobyl 25 jaar later") in Oekraïne gebeurt het zware nucleaire ongeval, voornamelijk als gevolg van een slecht beleid. Dit zorgt voor een aanwakking van de interesse in efficiënte en veilige kernenergie en in alternatieven zoals kernfusie.

**1988** - ITER krijgt vorm. Canada voegt zich bij het Europese ITER-team. Voor het ontwerp werken de VS, Rusland, Japan en Europa samen.

**1995** - De TFTR-installatie in de VS vestigt een record met de productie van 10 megawatt fusie-energie, een mijlpaal in het onderzoek.

**1996** - In het najaar heeft OPEC 8 miljard vaten ruwe olie in reserve of ongeveer 80 % van de wereldvoorraad. Op basis van het oliegebruik in 1996, zijn deze oliereserves volgens OPEC voldoende voor de komende 80 jaar.

**1997** - De JET-tokamak in Engeland breekt het record van de TFTR en produceert 16 megawatt fusie-energie.

**1998** - Japan bereikt een break-even equivalent in de JT-60-tokamak. Dit betekent dat de hoeveelheid energie die nodig is om het deuterium-tritium plasma te verhitten gelijk is aan de hoeveelheid energie geproduceerd door de kernfusiereacties.

**1999** - Canada rapporteert aan de Europese Unie de wens om het ITER-project in Canada onder te brengen. Als stichtend lid in 1988, trekt de VS zich terug uit het ITER-project door een gebrek aan steun in het Congres en de reductie van de budgetten. De interesse voor deelname aan het kernfusieonderzoek blijft echter bestaan bij de Amerikaanse wetenschappers. De VS verklaart wel dat het zijn beleid wil herzien als ze andere partners vinden om mee samen te werken. Enkele jaren later zijn Europa, Japan en Rusland bereid om het ontwerp van ITER te vervolledigen en om de nodige stappen te ondernemen voor de bouw.

**2003** - China en Zuid-Korea sluiten aan bij de vier oorspronkelijke partners: Europa, de VS, Japan en Rusland. Er moet nog een beslissing vallen waar ze ITER zullen bouwen: in Europa (Frankrijk, Cadarache) of in Japan (Rokkasho). De financiering zou geen probleem meer zijn: de landen die meewerken aan het project hebben zich allemaal bereid verklaard om geld op tafel te leggen. Het geschatte prijskaartje bedraagt 4,7 miljard euro voor de bouw, nog eens 4,8 miljard euro om de reactor twintig jaar te laten draaien en een half miljard om hem nadien te ontmantelen.

**2005** - De keuze valt op Cadarache in het zuiden van Frankrijk als site voor de bouw van ITER en de licentiestudies starten. Omdat er nog vele technologische uitdagingen om een oplossing vragen, zal het eerste ITER-plasma pas rond 2019 tot stand komen.

**2006** - India besluit om deel te nemen aan het initiatief en voegt zich bij de zes andere partners. Dit maakt van het ITER-project het grootste wetenschappelijke consortium ter wereld dat nu meer dan de helft van de wereldbevolking vertegenwoordigt. In Parijs zetten op 21 november de zeven partners hun handtekening om het ITER-verdrag plechtig te bezegelen.

**2007** - De ITER International Organisation is officieel geïnstalleerd met de eerste kantoren in Cadarache. De European Domestic Agency voor ITER wordt opgericht. Deze krijgt de naam F4E (Fusion for Energy) en is gevestigd in Barcelona.

**2009** - België verklaart officieel zijn deelname aan de “broader approach” of “bredere aanpak” van kernfusie. Dit Japans-Europees initiatief heeft als doel technologieën te ontwikkelen en onderzoek te verrichten dat niet in ITER kan gebeuren. België, met het SCK•CEN als coördinator, engageert zich voor de drie belangrijkste projecten: IFMIF (International Fusion Material Irradiation Facility), IFERC (International Fusion Energy Research Center) en STP (Satellite Tokamak Programme). Ook andere Belgische onderzoekscentra, universiteiten en bedrijven nemen deel aan dit internationale R&D-programma op technologisch topniveau.

Sinds de keuze voor de bouw in Cadarache in 2005 is het prijskaartje van ITER fors gestegen tot 12 à 15 miljard euro. Toch bedraagt dit nog altijd minder dan 1 euro per jaar per persoon.

*Wetenschappelijke gebouwen en het toekomstige hoofdkwartier van het ITER-project in Cadarache. Photo: ENGAGE*



# 4

## Het SCK•CEN en kernfusie

---

Het SCK•CEN levert een belangrijke bijdrage tot het kernfusieonderzoek, meer specifiek op vlak van instrumentatie, robotica, radioactief afval, reactor-ontmanteling en functionele en structuurmaterialen onder straling.

Voor het wetenschappelijk onderzoek gebruiken we onze BR2-reactor en hot-cells, afgeschermd cellen met dikke wanden en mechanische robotarmen om radioactieve materialen van op afstand veilig te manipuleren. Daarnaast zijn onze kennis van beryllium en tritium, onze expertise rond de uitbating van nucleaire installaties en onze ervaring met de ontmanteling van de BR3-reactor van essentieel belang.

We besteden ook aandacht aan bepaalde socio-economische aspecten van de ontwikkeling van kernfusietechnologie. Ons onderzoek vertegenwoordigt ongeveer de helft van de Belgische bijdrage aan het kernfusieonderzoek. De Koninklijke Militaire School en de ULB (Université Libre de Bruxelles) nemen de rest voor hun rekening met onderzoek rond plasmafysica.

*Hot-cell-operator aan het werk met telemanipulators voor onderzoek op bestraalde materialen.*



### Start van fusieonderzoek op het SCK•CEN

Het SCK•CEN stapt al sinds 1974 mee in het Europese kernfusieprogramma. Het laboratorium voor plasmafysica van de Koninklijke Militaire School was toen al vele jaren actief in dat gebied. Ook het SCK•CEN raakte overtuigd dat zijn eigen kennis en onderzoek nuttig konden zijn voor belangrijke kernfusieontwikkelingen. Sindsdien dragen we bij aan het Europese fusieprogramma en werken zo mee aan een duurzame energietoekomst.

### Hoe stond men toen ten opzichte van fusie?

In de jaren 70 werd kernfusie nog algemeen beschouwd als een gemakkelijk te realiseren en onuitputtelijke potentiële energiebron. Alleen het technische deel, de bouw van een fusiereactor, stond nog in de weg.

Al vlug beseften materiaalspecialisten dat de snelle hoog-energetische neutronen in de reactor de structuurmaterialen radioactief maken en schade kunnen aanrichten. Later kwam er reactie van de tritiumspecialisten die vragen stelden bij het opsluiten van grote hoeveelheden tritium in een omgeving waar met hoge temperaturen wordt gewerkt.

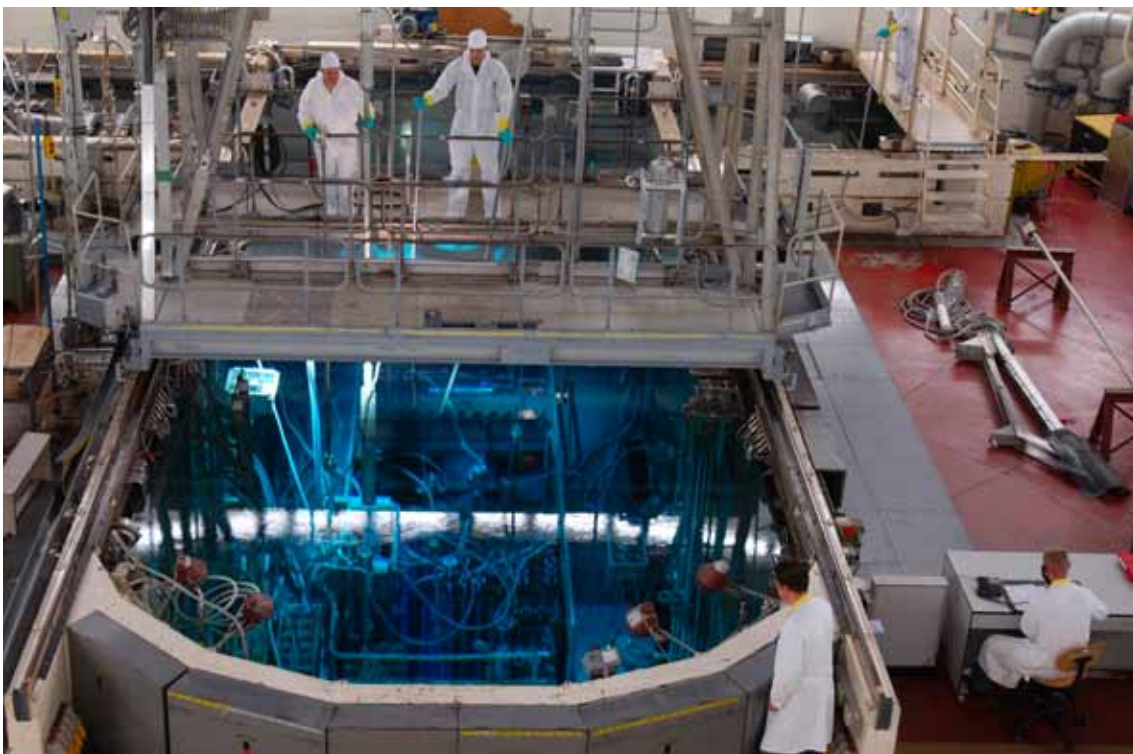
In de loop van de jaren 80 kwam aan het licht dat de technische realisatie van een kernfusiereactor bijkomende uitdagingen inhield voor ingenieurs. Het technologisch onderzoek moest even dringend gebeuren als het onderzoek rond plasmafysica.

### Overstap naar fusieonderzoek

Het SCK•CEN heeft op vlak van fissiereactoren een jarenlange expertise inzake de effecten van neutronenstraling op structuurmaterialen en inzake hun activering. Voor kernfusiematerialen was de overstap snel gemaakt naar de studie van de schade aangericht door hoog-energetische neutronen. De voornaamste realisatie was in de jaren 80 de constructie van een systeem in de BR2-reactor waarmee we vermoeidheidstests verrichtten op potentiële structuurmaterialen van de wand die het plasma moest omhullen. We hebben gelijkaardige proeven gedaan tot begin jaren 2000 en beschikken nog steeds over de nodige expertise om zoiets opnieuw te doen.

Dankzij onze ervaring met de ontwikkeling van snelle neutronenreactoren, hebben we een grondige kennis over het omgaan met en de behandeling van vloeibare metalen (natrium in dit geval). Het was dan ook een kleine stap om lithium en lithium-lood kringlopen te bouwen om het gedrag van potentiële structuurmaterialen van de fusiereactor in een omgeving van vloeibaar lithium of lithium-lood te testen.

*Reactor BR2 op het domein van het SCK•CEN in Mol, waarin we materialen bestralen voor fusieonderzoek.*



Het SCK•CEN bouwde en exploiteerde met succes twee gespecialiseerde kringlopen, waarvan een met een elektromagneet met hoge intensiteit. Ondanks de heel interessante resultaten, werd het project uiteindelijk stoptgezet omdat de kosten te hoog zouden oplopen en er slechts beperkte financiële middelen waren. Er was hoop om de kosten te kunnen drukken door een grotere bijdrage van de industrie maar die was tevergeefs. Pas nu de bouw van ITER een feit is en de “bredere aanpak” vorm krijgt, begint de industrie echt interesse te tonen voor kernfusie.

### Het SCK•CEN speelde een belangrijke rol

Het groeiende aandeel van technologie in het fusieonderzoek vereiste een aangepaste structuur van de Belgische bijdrage tot het Europese kernfusieprogramma. In het midden van de jaren 80 werd dit opgedeeld in een deel plasmafysica onder leiding van de Koninklijke Militaire School en een deel fusietechnologie dat onder de leiding kwam van het SCK•CEN.

### Het SCK•CEN kreeg de opdracht om andere instellingen en industrieën te betrekken bij de technologische ontwikkeling van kernfusie.

Dat resulteerde in een samenwerking met de K.U.Leuven op het gebied van corrosie en met de Faculté Polytechnique de Mons inzake sensoren en diagnostiek. Later zullen industriële partners zoals Gradel-Luxemburg en IBA (Ion Beam Applications) ook meedoen. Recent werden via de “bredere aanpak” ook andere bedrijven betrokken zoals ALM (Ateliers de la Meuse) en Tractebel Engineering.

In 1989 veroorzaakte een wetenschappelijk artikel oproer in de wereld van kernfusie: twee Angelsaksische onderzoekers, Pons en Fleischmann, rapporteerden de ontdekking van kernfusiereacties op lage temperatuur, later koude fusie genoemd. Wereldwijd probeerden diverse laboratoria, waaronder het SCK•CEN, de proef na te bootsen, maar zonder succes. Dankzij onze expertise op gebied van nucleaire metingen, konden we aantonen dat er geen extra neutronen meetbaar waren bovenop de achtergrondruis. Die extra neutronen zouden een duidelijk bewijs geweest zijn voor koude fusie.

Het SCK•CEN voerde dit experiment uit kort na de aankondiging van de koude-fusieontdekking. Het heeft een rol gespeeld in de internationale inspanningen om de geldigheid van de koude-fusietest te controleren. De experimenten maakten van “koude kernfusie” een wetenschappelijke legende.

### Jaren negentig

In de jaren 90 kwam op Europees niveau een deel van de onderzoeksbudgetten onder druk. Na de terugtrekking van de Verenigde Staten uit het ITER-consortium moesten de overblijvende partners het project herzien om de algemene reikwijdte te beperken. Dit leidde tot het huidige concept dat gebaseerd is op het volledig aangepaste ontwerp gefinaliseerd in 2001.

## Jaren 2000

Het besluit in 2005 om ITER te bouwen en de keuze voor de implantatie in Europa hebben een belangrijke impuls gegeven aan het onderzoek. Het grootste deel van de Europese budgetten van het Euratom-onderzoeksprogramma (Europese Gemeenschap voor Atoomenergie) is inmiddels besteed aan de ontwikkeling van fusie-energie en de bouw van de ITER-installatie.

Op Belgisch niveau waren deze ontwikkelingen de aanzet voor verschillende financieringsbesluiten over R&D rond kernfusie. Ook de bijdrage van België aan de “brede aanpak” van kernfusie vloeide eruit voort.

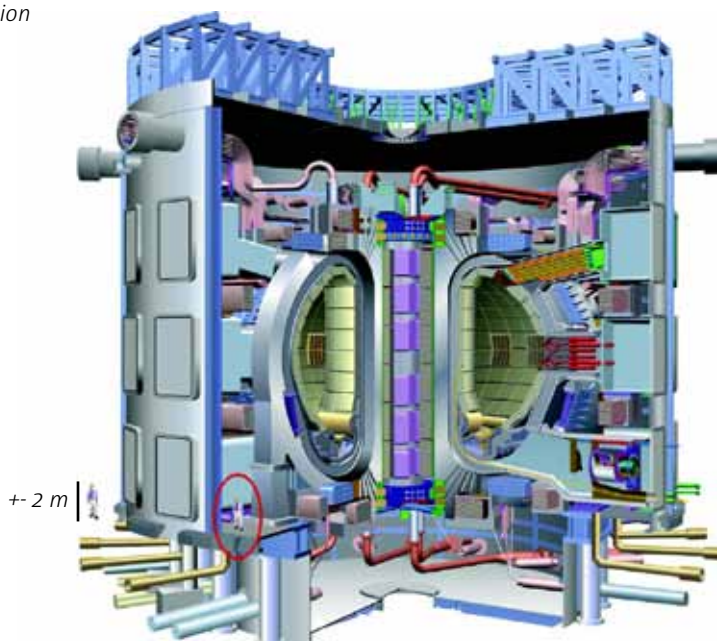
Al deze programma's resulteren in een synergie tussen onderzoek en industrie. De ontwikkeling verlaat de laboratoria voor een overdracht van de verzamelde kennis en procédés naar de industriële sector.

## Financiën

Tot 2007 besteedde België ongeveer 8 miljoen euro per jaar aan fusieonderzoek, waarvan tussen 3 en 4 miljoen op het SCK•CEN. Dit komt overeen met zo'n 1,6% van de totale Europese financiering. Een vijftigtal medewerkers van het SCK•CEN wijden zich aan kernfusie voor een equivalent van 5-10 man-jaren. De Europese Commissie betaalt ons tussen 0,5 en 1 miljoen euro per jaar. Er was een significante daling sinds 2007, na de stopzetting van de voormalige structuur van EFDA, het European Fusion Development Agreement.

De Belgische federale regering ondersteunt ook de ontwikkeling van prototypes voor ITER tot ongeveer 300 000 euro per jaar. De totale bijdrage van de federale en regionale regeringen aan de “brede aanpak” bedraagt 11 miljoen euro verdeeld over 6 jaar. Het SCK•CEN is verantwoordelijk voor de technische coördinatie en een deel van het onderzoek en de ontwikkeling van dit grote project.

*Met een hoogte van 29 meter en een diameter van 28 meter zal ITER de grootste tokamak ter wereld worden.  
© ITER Organization*



## Fusieonderzoek op het SCK•CEN vandaag

Op het SCK•CEN levert het Instituut voor Nucleaire Materiaalwetenschappen de grootste bijdrage met uitgebreid onderzoek naar plasma-wand interactie en de invloed van straling op mechanische eigenschappen van structuurmaterialen.

Binnen het Instituut voor Geavanceerde Nucleaire Systemen bestuderen we instrumentatie in een stralingsomgeving met het oog op plasmadiagnostiek en telemanipulatie. In beide gebieden coördineerden we het Europese onderzoek voor specifieke deelaspecten. Dit instituut is ook nauw betrokken bij de ontwikkelingen voor IFMIF (International Fusion Material Irradiation Facility) als onderdeel van de “brede aanpak” van fusie.

Sinds 2008 beschikken we over een nieuwe installatie: **Plasmatron VISIONI**. Het is de enige onderzoeksfaciliteit van dit type in Europa waarin tritium gebruikt kan worden.

We zullen met de Plasmatron de interactie onderzoeken tussen plasma en wandmaterialen voor fusiereactoren, zoals beryllium en verschillende soorten wolfram. De eerste experimenten met tritium zijn gepland na 2012. De resultaten zullen onder meer gebruikt worden voor de verdere ontwikkeling, bouw en vergunning van ITER.

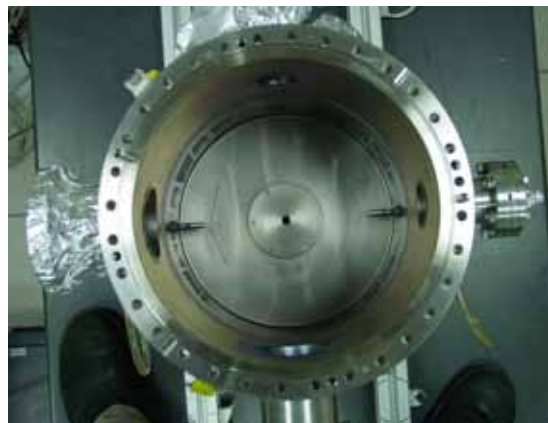
Naast de Plasmatron is de BR2-reactor één van onze belangrijkste troeven. Zo zorgde kernfusie jaar na jaar voor een derde of zelfs de helft van het wetenschappelijke gebruik van de reactor.

Bovenop dit eerder technologisch onderzoek, leveren we ook kleinere maar niet onbelangrijke bijdragen in andere domeinen. Binnen het Instituut voor Milieu, Gezondheid en Veiligheid, bestuderen we onder meer de afvalproblematiek en de sociologische aspecten van kernfusie.

*Plasmatron onderzoeksinstallatie op het SCK•CEN.*



*De plasmakamer is een onderdeel van de Plasmatron.*



## De publieke opinie over kernfusie

Sinds enkele jaren besteedt EFDA, de instantie die het fusieonderzoek binnen Europa coördineert, ook aandacht aan economische en sociale aspecten van kernfusie als energiebron. Eén van de studiedomeinen is “Kernfusie en de publieke opinie”, waarin experts trachten te achterhalen wat de burger weet en denkt over kernfusie en het onderzoek dat ermee gepaard gaat.

Een specifiek aandachtspunt is de houding van de bevolking ten aanzien van de vestiging van ITER in Cadarache. Dit onderzoek leert dat het algemene publiek nog onvoldoende geïnformeerd is over de technische en beleidsaspecten van kernfusie en dat mensen zich daarom ook geen beeld of mening kunnen vormen over de voor- en nadelen ervan. Daarnaast blijkt er bij de lokale bevolking weinig vertrouwen te zijn in de betrokken overheden en wetenschappelijke instellingen, terwijl men anderzijds wel de mogelijkheden voor regionale socio-economische ontwikkeling onderkent.

## Energiebeleid en kernfusie

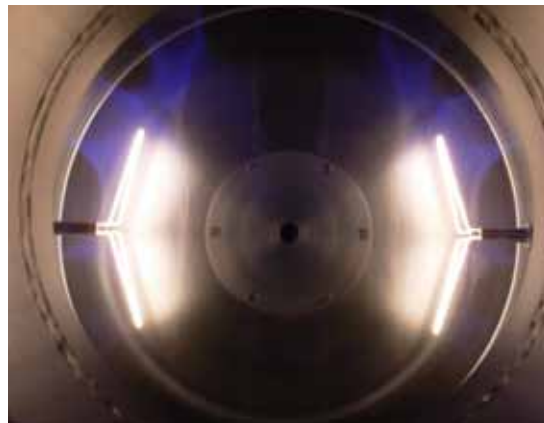
Naast het opinieonderzoek speelt het SCK•CEN nu een belangrijke rol in EFDA-onderzoek naar de betekenis van het concept duurzame ontwikkeling als leidraad voor energiebeleid. Daarbij worden de gevolgen onderzocht van het in rekening brengen van de optie kernfusie.

Om een energiebeleid te formuleren, maken experts en beleidsverantwoordelijken gebruik van wetenschappelijk onderbouwde toekomstgerichte analyses zoals computersimulaties en het in groep construeren en bespreken van scenario's. Kernfusie is echter nog steeds een hypothetische energieoptie. Daarom besteedt dit onderzoek speciale aandacht aan de manier waarop deze analyses een concreet energiebeleid kunnen informeren en in die zin ook kunnen leiden tot betekenisvolle uitspraken over kernfusie.

*Plasmakamer met werkende gloeidraden.*



*Ontlading van plasma in de plasmakamer.*



# 5

## Besluit

---

Onderzoekers stellen kernfusie al tientallen jaren voor als een veelbelovende technologie om energie op te wekken. Hoewel de verwachtingen tot nu toe niet volledig ingelost zijn en er nog een aantal wetenschappelijke uitdagingen om een oplossing vragen, blijft het geloof in kernfusie als toekomstige energiebron bestaan.

Internationaal onderzoek en technologische ontwikkelingen maken de technologie meer en meer tastbaar. De bouw van ITER en de parallelle uitwerking van de “bredere aanpak” geven een positieve impuls aan het fusieonderzoek. De enorme brandstofvoorraad is een belangrijk argument om door te gaan en kernfusie op commerciële schaal te onwikkelen.

Het SCK•CEN ziet de ontwikkeling van kernfusie als een ideale kans om onderzoek te doen op hoog-technologische niveau in een internationale context. Het ultieme doel: de toegang tot duurzame energie verzekeren voor zoveel mogelijk mensen over de hele wereld.



# 6

## Interessante websites

---

### [www.iter.org](http://www.iter.org)

Website van de ITER Organisation (International Thermonuclear Experimental Reactor) met uitgebreide informatie over het project en de onderzoeksinstallatie.

### [www.iterbelgium.be](http://www.iterbelgium.be)

Website van de Belgische ITER-coördinatiecél om bedrijven optimaal te informeren over én te betrekken bij de realisatie van het ITER-project.

### [www.efda.org](http://www.efda.org)

Website van EFDA (European Fusion Development Agreement) een overeenkomst tussen Europese fusieonderzoeksinstituten en de Europese Commissie om hun coördinatie en samenwerking te versterken, en deel te nemen aan collectieve activiteiten.

### [www.jet.efda.org](http://www.jet.efda.org)

Thematische website over de Joint European Torus (JET), momenteel Europa's grootste kernfusie-installatie.

### [www.fusie-energie.nl](http://www.fusie-energie.nl)

Website van het grootste fusieonderzoekscentrum van Nederland met informatie over fusie-energie, de Fusion Road Show, een lesmodule en experimenteren met kernfusie.

### [www-fusion-magnetique.cea.fr](http://www-fusion-magnetique.cea.fr)

Thematische website van het Franse IRFM-CEA (Institut de Recherche sur la Fusion Magnétique - Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives).

### [www.tokamak.info](http://www.tokamak.info)

Website met informatie en karakteristieken van meer dan 200 tokamaks overal ter wereld.



# SCK•CEN

**SCK•CEN – Studiecentrum voor Kernenergie**

Het SCK•CEN is een stichting van openbaar nut met een privaatrechtelijk statuut, onder voogdij van de Belgische federale minister van energie.

**Laboratoria**

SCK•CEN, Boeretang 200, BE-2400 MOL

**Maatschappelijke zetel**

SCK•CEN, Herrmann-Debrouxlaan 40, BE-1160 BRUSSEL

**Verantwoordelijke uitgever**

Eric van Walle  
Directeur-generaal

**Copyright © 2011 – SCK•CEN**

Dit werk is auteursrechtelijk beschermd (2011).  
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt  
zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het SCK•CEN.

# SCK•CEN

## Contact

SCK•CEN

Boeretang 200

BE-2400 MOL

Tel. +32 14 33 25 86

[info@sckcen.be](mailto:info@sckcen.be)

[www.sckcen.be](http://www.sckcen.be)

