"Kontrollierte Kernfusion": Die wissenschaftlich und technologisch ungelösten Probleme

(Februar 4, 2026 Dr. M. Dittmar, ETHZ/CERN pensioniert)

- Unser Energie Problem: Wollen/brauchen wir(?) kontrollierte Kernfusion auf dem Planeten Erde?
- Physikalische Grundlagen der Kernfusion: Illusionen der letzten 80 Jahre: vom Europäischen JET Projekt (1971-2001) zum globalen ITER Projekt (1985–??? Stop ???)
- Die 4 fundamentalen Probleme der kontrollierten Kernfusion auf der Erde
- Das fundamentale Tritium Problem: Schon "lange" bekannt und trotzdem ignoriert!
  Forschung zur Plasma Physik und Laser Fusion hat nichts Energie Forschung zu tun!

Fusion Illusions (my 2012 email exchange)

From: michael dittmar [mailto:Michael.Dittmar@cern.ch] Sent: 10 September 2012 11:54

Dear Professor Motojima,

Following our interesting exchange in Engelberg, here is a link to my analysis concerning Breeders and Fusion perspectives.

The long list of open serious problems about fusion (and breeders), never addressed in presentations, require an answer in my view. So far all direct questions to plasma and other nuclear fission physics scientists were either not answered, or acknowledged the problems. Some even informed me about more problems.

So yes, it would be great to achieve the state of the art scientific answers.

http://arxiv.org/abs/0911.2628

with best regards

Michael Dittmar

the answer 11.9.12 Dear Michael,

I got your message addressed to Mr Motojima.

Thank you for your interest in fusion and ITER.

I had a look at your analysis and you are clearly addressing the main questions and uncertainties about fusion. We are of course aware of these issues and shortcomings, some of which are explicitly addressed on our public website (see for example www.iter.org/faq). This is why fusion research, and also related research (material etc) is so important. We, scientists, do often concentrate on the advances and achievements as we all know that science is a huge ocean of unknown. But we have to tell or remind the public this very basic truth.

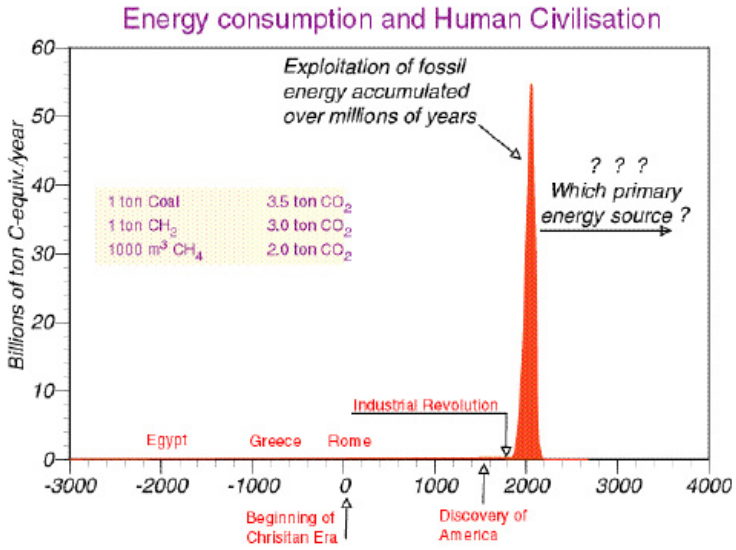
Best regards.

Michel.

Michel Claessens, Ph D Head of Communication Office of the Director-General

Warum brauchen wir(?) neue Energie Quellen?

Zum Beispiel: Nobelpreis Laureat C. Rubbia, IAEA Fusion Energy Conf. Oct. 2000
Original plot probably made around 1971 by Dr. M. King Hubbert (1903-89) (geophysicist)



Grundannahme: Wir(?) (in den reichen Ländern) können/wollen unsere Lebensweise nicht ändern!
Wir brauchen Kernfusion weil: ..
Argumente von der ITER website (und viele Videos) https://www.youtube.com/watch?v=oHQFNXEKRWI):

- Die wachsende Weltbevölkerung und der wachsende Energiebedarf;
- Öl, Gas und Kohle sind sehr begrenzt und haben uns das CO2 Problem gebracht;
- Energie aus der Kernspaltung ist sehr begrenzt;
- Erneuerbare Energiequellen sind begrenzt;
- Eine andere Lebensweise ist keine Option. (das wäre im Gegensatz zur Grundannahme!).

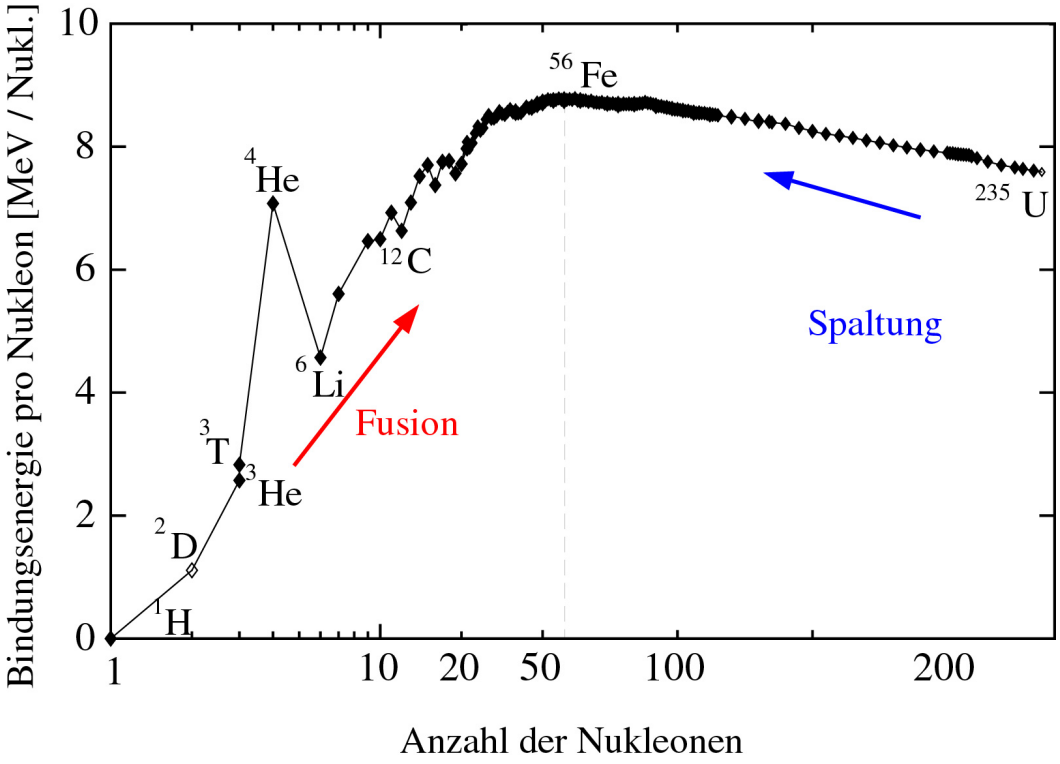
Kernphysik, die Bindungsenergie der Atomkerne und $E = mc^2$

Kern Reaktionen mit $\approx$ 0.1 - 10 MeV (Millionen eV/ Nukleon)
Chemische Atomreaktionen: "Elektron Volt" Energien ($1eV = 1.6 * 10^{-19}$ Joule)

Nukleonen = Protonen (elektische Ladung +1) und Neutronen (Ladung = 0)

Spaltung von Uran(235) rund 200 MeV pro Reaktion (1 MeV / Nukleon)

Fusion von Wasserstoff (Isotopen) rund 17 MeV pro Reaktion (4 MeV/Nukleon)

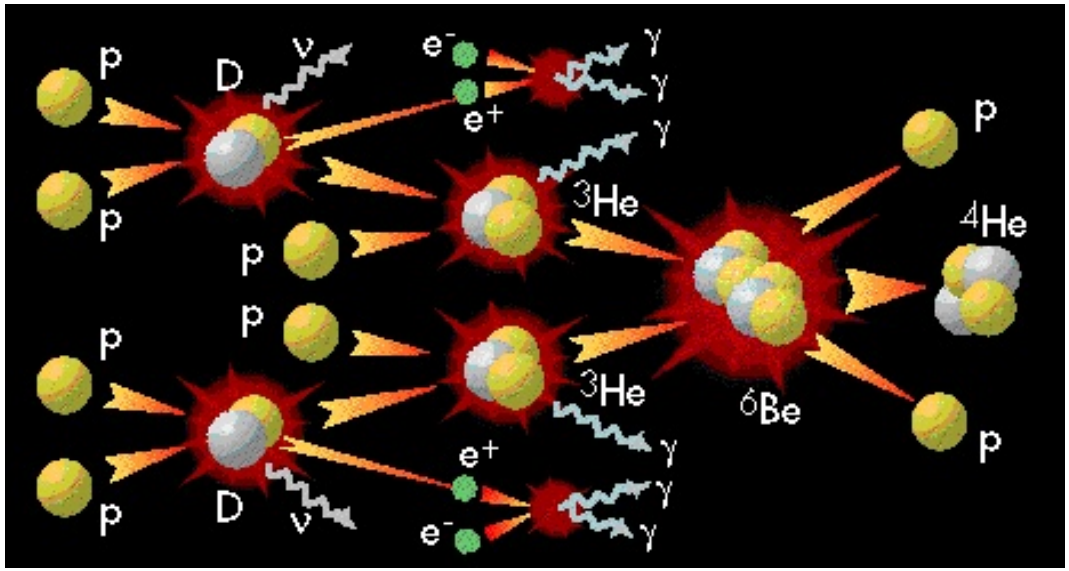


Quelle jedes bessere Physik Buch oder z.B.: https://www.dpg-physik.de/vereinigungen/fachlich/smuk/fvp/weiterfuehrende-informationen/grundlagen-der-kernfusion

Kernfusion in der Sonne (und Sternen)

$$H^1 + H^1 \rightarrow H^2 + e^+ + \nu + \ 0.42 \text{ MeV}$$
$$H^2 + H^1 \rightarrow He^3 + \gamma + \ 5.49 \text{ MeV}$$
$$He^3 + He^3 \rightarrow He^4 + 2p + 12.86 \text{ MeV}$$

Pro Sekunde: 600 Millionen Tonnen Wasserstoff werden in der Sonne fusioniert. Es gibt noch genug Wasserstoff für rund 5 Milliarden Jahre. Die Gravitation erzeugt einen hohen Druck (10 Milliarden bar) und eine Temperatur von (15 Millionen Grad) im Zentrum der Sonne.



Die kontrolierte Kernfusion: Worum geht es eigentlich?

$$H^2 + H^2 \rightarrow H^3 + H^1 + \text{ 4.03 MeV}$$
$$H^2 + H^2 \rightarrow He^3 + n + \text{ 3.27 MeV}$$
$$H^2 + H^3 \rightarrow He^4 + n + \text{ 17.59 MeV}$$
$$H^2 + He^3 \rightarrow He^4 + H^1 + \text{ 18.35 MeV}$$
$$(1 \text{ MeV} = 1.6 \times 10^{-13} \text{ Joule})$$

Fusion von 1 gr (Deuterium + Tritium) setzt eine (thermische) Energie von $\approx 10^5$ kWh frei!

Aber: Tritium H^3 existiert in der Natur nicht es muss irgendwie hergestellt werden.

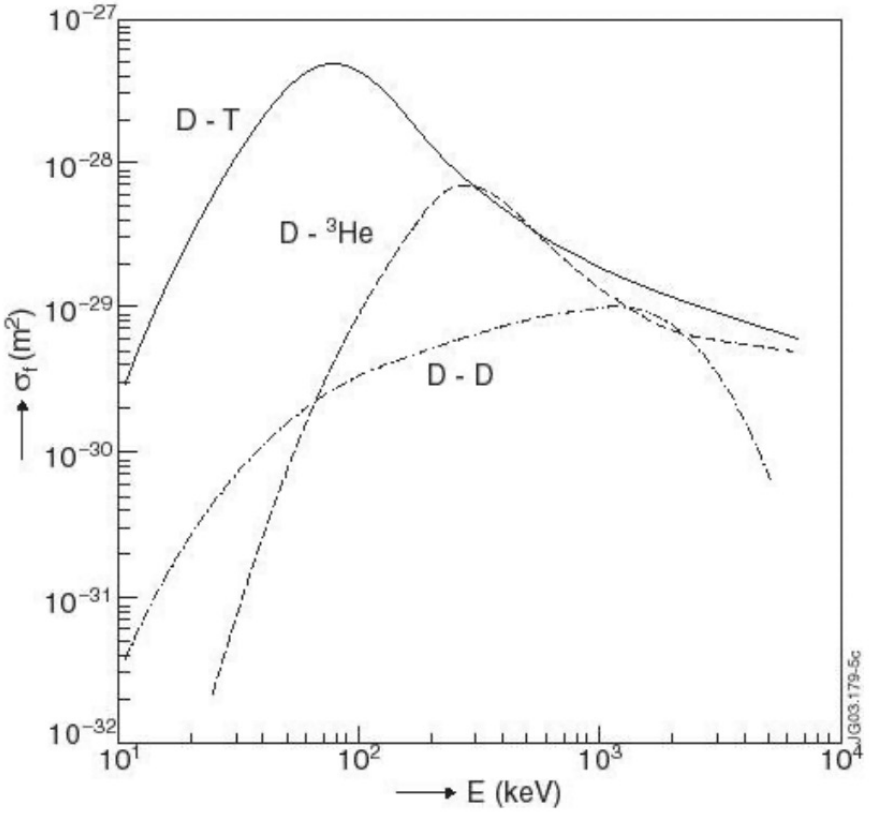
Deuterium + Tritium $\rightarrow$ Helium + n + 17.59 MeV

n + Lithium (Li^6) $\rightarrow$ Helium + Tritium + 4.8 MeV

Kontrollierte Kernfusion: Warum die Deuterium-Tritium (D-T) Reaktion

Die einzige Hoffnung kommt von der D-T Reaktion:

"kleinste" Temperatur (150 Millionen Grad) und grösste Wahrscheinlichkeit einer Reaktion (cross section). $H^2 + H^3 \rightarrow He^4 + n + 17.59$ MeV



Kontrollierte Kernfusion mit Deuterium+Tritium

(also nicht wie in der Sonne und in Sternen!)

Fusionsgläubige akzeptieren: nur die D-T Fusion ist vorstellbar!

Lawson Kriterium (eine positive Energiebilanz aus der Fusion:
Produkt der Teilchendichte $\times$ *Einschlusszeit* $> 10^{14}$ *atoms/sec/cm*^{3}
(also: kleine Fusions-Reaktoren jeglicher Art sind unmöglich!)

- Tokamak: Temperatur 200 Millionen Grad, Druck = 6 bar
  ("Laser compression": Temperatur 100 Millionen Grad und Druck 100 Mrd bar)
- Fusion Leistung: 2 000 000 W/m^3 (im Vergleich Sonne: 300 W/m^3)
- stabile Einschlusszeit: 1-1000 sec?

Kontrollierte Kernfusion (V): Die Magnet Tokamak Technologie?

Mein Physik Studium (1976-1980) in Hamburg:

- *"It will most likely take until the year 2000 to bring a laboratory reactor to full commercial utilisation."* (Energy, Resources and Policy R. Dorf (1978) Seite 260)

- *"Das Ziel (Kernfusion) scheint nun sichtbar zu werden"*
  Frauenfelder and Henley: Teilchen und Kerne (1974))

- *"The construction of a fusion reactor includes a number of unsolved practical problems. Therefore one cannot expect that nuclear fusion will become a practical energy resource during the next decades. However, with a longer timescale this appears to be a realistic possibility"* Tippler: Physik (1991)

Der Traum der Plasma-Fusions Physiker:

ein grosser Welt Tokamak

	ITER	Original ITER	JET Project
Baukosten 10^9 Dollar (Jahr 2000?)	4.3	7.8	0.2
Q ("steady state")	5	10-15	0.2-0.6
Tokamak major radius	6.2 m	8.1 m	2.96
Tokamak minor radius	2.0 m	2.8 m	1.25
Burn time (steady state)	2000 s	10,000 s	1-6 sec
Power output	400 MW	1500 MW	4-16 MW
Plasma volume	840 m3	2000 m^3	90 m^3
Average neutron wall load	0.6 MW/m^2	1 MW/m^2	"low"
Integrated neutron wall load	0.3 MW-year/m^2	1-3 MW-year/m^2	"low"

(Das ITER Projekt in Zahlen, Physics Today, March 2000)

ITER: Ein "Projekt" der Machbarkeit?

20 Jahre ITER Konstruktion zeigen etwas anderes!

Kritische Stimmen zum ITER Projekt (2004)

zum Beispiel die Physiker: S. Balibar, Y. Pomeau (Directeur CNRS) und J. Treiner (Prof. université P. M. Curie) in Le Monde 24.10.2004

- Kosten für Frankreich (als Host) 457→ 914 Mill. Euro (≈ 1/4 der Baukosten!) aber das gesamte Forschungsbudget wird gekürzt.
- Das Ziel "Plasma Physik zu verstehen" ist eine Frage der Grundlagenforschung und keine Frage der Energie. Deshalb ist eine Sonderbehandlung nicht gerechtfertigt.
- Es macht keinen Sinn einen revolutionären Motor zu bauen, wenn man keine Ahnung hat wie man die Räder integrieren kann.
- Ein realistisches Programm zu Fusionsenergie sollte diese Fragen untersuchen:
  - Die Tritium Produktionskette: 56 Kg Tritium pro Jahr und 1000 Mega Watt (thermal power). (viel mehr als alle KKW's auf der Erde in einem Jahr produzieren.)
  - Material Einschluss des Plasmas im Dauerbetrieb mit hohem Neutron Beschuss
  - Material Forschung: Wir haben keine Ahnung wie ein Material die extrem hohe Neutron Strahlung überleben kann.

Kern Fusion: Was sonst noch fehlt? (I)

80 Jahre Jahre Forschung und Entwicklung:
Was man mit JET gelernt hat, was man eventuell mit ITER lernen kann und was es für einen realen Reaktor braucht:

- Plasma volume = 90 m^3 (ITER 840 m^3) man braucht mindestens 2000 m^3 für einen kleinen 1.5 GW_{therm} Reactor.
- Q-value (thermal Power out/electric Power in) = 0.6, (5-10 ITER) man braucht mindestens Q = 30!
- Peak Power = 4 MW für 4 sec (ITER goal 500 MW 2000 sec (jetzt 300 sec.!) Permanente Power $\approx$ 3000 MW!
- Tritium = 20 gr (ITER ein paar Kg?) man braucht mindestens 56 Kg/year/GW $_{therm}$ power.
- Tritium fusion Effizienz im Plasma: JET/ITER etwa 1/million!
  man braucht mindestens einige % .. es fehlt gerade mal ein Faktor 10 000!

Kern Fusion: Was sonst noch fehlt? (II)

Andere Bedingungen für einen kommerziellen Reaktor:

- Es gibt kein Material welches:
  (1) die hohe Bestrahlung von energiereichen Neutronen für akzeptable Zeiten überleben kann;
  (2) effizientes Tritium brüten und extraktion ermöglicht.

- Die 14 MeV Neutronen entweichen in alle Richtungen aus der Plasma Zone (mindestens 2000 m^3 und haben viele Aufgaben:
  a) minimale Kernreaktionen mit dem "Magnet Material"
  b) effizienter Übertrag der Energie auf ein Gas ohne die Neutronen zu absorbieren.
  c) und danach reagieren sie mit Lithium (blanket ? 1 m und mehr Durchmesser) Tritium erzeugt.
  d) danach kommen viele fleissige "Ameisen": um das Tritium zu sammeln und ohne Verluste aus dieser Zone heraus zu holen und zu speichern. Anschliessend bringen sie es wieder in das Plasma Volumen hinein und halten das Plasma von Verunreinigungen frei.
  (und alles ohne Wartung und für viele Jahre kontinuierlich
  (im Vergleich: Kernspaltungs-Reaktoren sind trivial!).

- Es ist unbekannt wie (unvermeidbare!) das radioaktive Tritium (Wasserstoff chemisch sehr aktiv) extrahiert werden kann.

Das physikalische Tritium Problem

die einzige realistische mögliche Fusionsreaktion auf der Erde:
(die Wasserstoffbombe funktioniert und bedroht uns alle!)

Deuterium + Tritium $\rightarrow$ Helium (3.5 MeV) + Neutron (14.1 MeV)

und das brüten von Tritium

n + Lithium (Li^6) $\rightarrow$ Helium + Tritium + 4.8 MeV $\sigma_{absorp} = 940$ **barn**
n + Lithium (Li^7) $\rightarrow$ α + Tritium + n - 2.57 MeV $\sigma_{absorp} = 0.0454$ **barn**
σ **(mit langsamen Neutronen) von** http://www.ncnr.nist.gov/resources/n-lengths/elements/li.html

Lithium: 92.5% Li^7 und 7.5% Li^6, manchmal redet man "uber Li^6 Anreicherung auf 40%.

unvermeidbare Neutronen Verluste

Tokamak Geometrie (ein paar 1000 m^3 Volumen mit nicht vollständigem LiX blanket coverage), Neutron Reaktionen im inneren Schutzschild der Plasma Zone "first wall (FW)" und dem kühl Material. unvermeidbare Tritium Verluste:

(1) Tritium Zerfall, (2) Tritium Extractionsverluste, (3) Tritium Transport Verluste von der Produktion in die Fusionszone und (4) ineffizienter Tritium "burn up".

Die Illusion der kontrolierten Kernfusion auf der Erde

M. A. Abdou, Director of Fusion Science and Technology Center at UCLA
(Briefing to DOE Office of Science on Fusion Chamber Technology on behalf of the US Fusion chamber community June 3, 2003)

Quote I:
"There is NOT a single experiment yet in the fusion environment to show that the DT fusion fuel cycle is viable."

Quote II:
"Tritium supply and self-sufficiency are "Go-No Go" issues for fusion energy, as critical NOW as demonstrating a burning plasma"

Quote III:
"What should we do to communicate this message to those who influence fusion policy outside DOE?"

Prof Abdou (June 3, 2014), USA Fusion Energy Sciences Advisory Committee):
"Compelling examples from recent discoveries show that blankets designed with current knowledge of phenomena and data **will not work***"*

Zusammenfassung: Die 4 fundamentalen Show Stoppers der kontrollierten Kernfusion auf unserem Planeten:

- Der ITER Plan (2008) first plasma exp. = 2018, (2010 = 2019), (Nov. 2016): First Plasma in 2025 (and on to Deuterium-Tritium Operation in 2035(+9 years!)) see also: Nature May 26, 2016 .. und 2023 es wird an einem neuem Zeitplan gearbeitet!
  (Plan 2025: "Start" der Experimente 2034 (https://www.iter.org/building-iter)
  http://www.nature.com/news/us-advised-to-stick-with-troubled-fusion-reactor-iter-1.19994
  http://www.world-nuclear-news.org/NN-New-schedule-agreed-for-Iter-fusion-project-2111164.html

- Kommerzielle Energieerzeugung braucht ein ("steady state") GW(e) Kraftwerk welches für Jahre und nicht für Minuten funktioniert.

- Kein Material existiert was gleichzeitig Plasmaeruption und einen hohen Neutron Neutron Fluss ohne Schaden aushalten kann. (Solche Materialien kann man noch nicht mal mit ITER testen und entwickeln).

- Ein hypothetischer 3 GW(thermal) Reaktor braucht mindestens 200 Kg Tritium/year. (Welt Reserven 2027 im besten Fall etwa 30 kg)

- **Heutiges Wissen: Eine autosuffizienter Tritium Fusion-Breeding Kreislauf ist unmöglich!**

Das 20-60(?) Milliarden teure Euro Projekt ITER ist vielleicht(?) ein interessantes Plasma Physik Experiment, hat aber nichts mit Energieforschung zu tun!

Appendix

Wer Zeit hat: meine Berichte für die Grüne Partei von 2019:
Fusion und ITER (Part I +Part II) at:
Leider nicht mehr auf der Webseite der Grünen Partei
http://ihp-lx2.ethz.ch/energy21/ITERreport1.pdf und
http://ihp-lx2.ethz.ch/energy21/ITERreport2.pdf

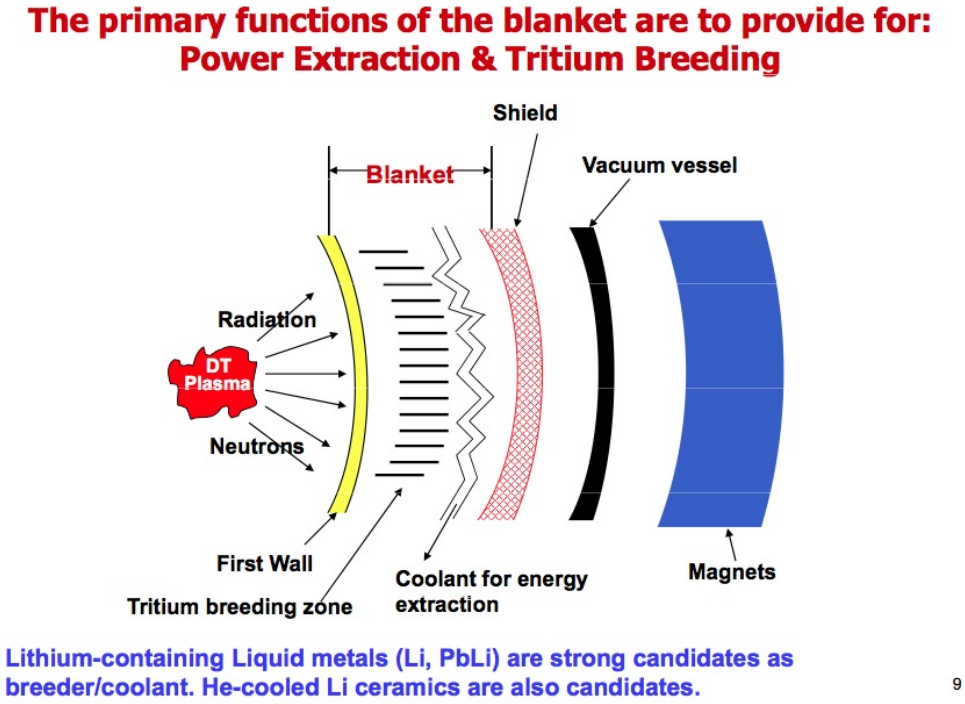
From my conclusion:
It seems that only two optimistic options exist to interpret the (experimental) findings presented in this report as:

1 The hard work of the nuclear fusion scientists from all around the planet, funded during the last 20 years with at least some 20 billion Euros, has experimentally proven beyond doubt that the Tokamak technology will not be the way to liberate fusion energy for the production of electric energy; or

2 The claimed scientific understanding of nuclear fusion and its realisation for electric energy production using Tokamaks during the past decades was totally flawed and we finally have learned that it will always take 50 years before electric energy can be produced from the nuclear fusion processes on our planet.

DEMO design: 2000 m^3(?) plasma zone to "First Wall" and the tritium breeding zone ..

Tritium "self sufficiency " is a must for the DEMO Prototype(?)



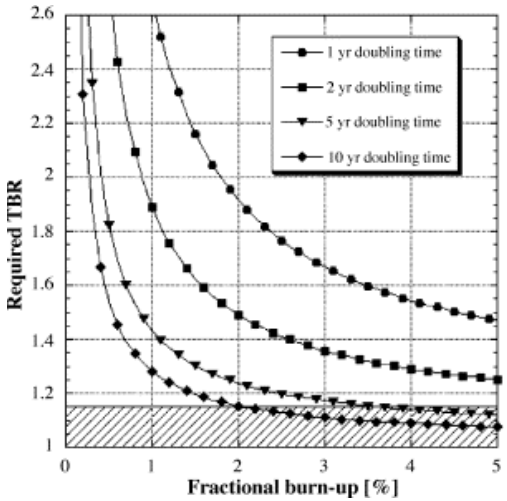
From the 19/20.8.2010 talk of Prof. Abdou in Kyoto:
Scientific and Engineering Challenges and New Strategy for Development of Practical Fusion Energy at http://www.fusion.ucla.edu/abdou/
see also his September 2017 talk http://www.fusion.ucla.edu/abdou/abdoupresentations/2017/2017-09-25-KN3AbdouMondayMorningISFNT-13TritiumFuelCycle.pdf

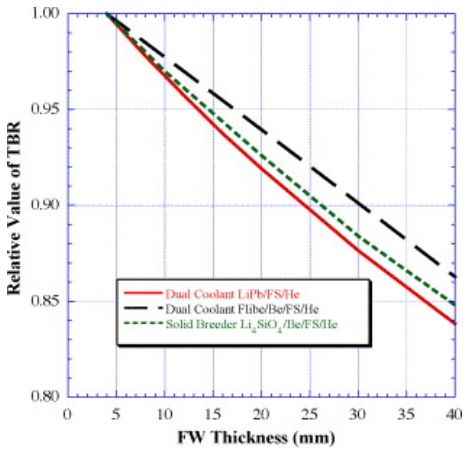
Von Computer Träumen zur Realität

Das bekannte aber gut versteckte Tritium Problem (I)

- "Required tritium breeding ratio" rTBR $\geq$ 1.15 (doubling time 5-10 years), even with rTBR $\geq$ 1.3 (1 year doubling time)!

- 3-D simulations of hypothetical FW (first wall) and different "breeding blankets" find at best an "achievable tritium breeding ratio" (aTBR) of $\leq$ 1.15.





for details see: M. E. Sawan, M. A. Abdou, Fusion Engineering and Design 81 (2006) 1131-1144 and http://www.fusion.ucla.edu/abdou

Von Computer Träumen zur Realität

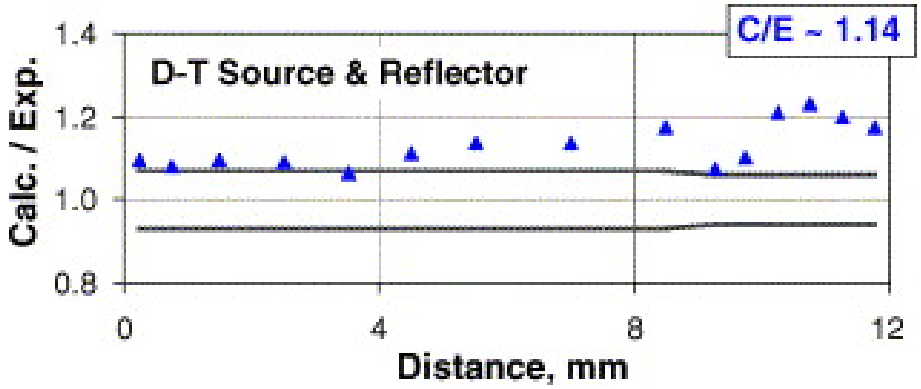
Das bekannte aber gut versteckte Tritium Problem (II)

- simplified neutron lithium breeding experiments show that "computer simulations" systematically overestimate experiments by a factor of ≈ 1.14" (or more?)
  (Quote from the publication: *"the large overestimate is alarming")*

- *In addition: Computer know nothing about tritium extraction and transport efficiency.*

- *Computer also know nothing about heat transport and material ageing from energetic neutron impacts.*

- *TBR experiments with realistic high energy neutron flux can not be studied at ITER nor anywhere else!*



for details see: M. E. Sawan, M. A. Abdou, Fusion Engineering and Design 81 (2006) 1131-1144 and http://www.fusion.ucla.edu/abdou

Controlled nuclear fusion (V): droplets compression and muon catalyzed fusion

the impossible droplets compression concept:

- droplets with a Tritium-Deuterium mixture with a mm radius
- implosion through laser, x-rays or particle beams for extremely short time: resulting density from 4ng/cm^3 to 200 gr/cm^3.
- 20 droplet fusion per second: 2 MW/m^3/sec within the fusion volume!
- Reality of laser fusion projects: working on science fiction "laser beam weapons".

the impossible muon-catalyzed fusion concept:

- replacing electrons with muons would reduce the "Bohr radius" of deuterium and the deuterium nucleus could fusion directly (fusion reaction time scale is "nsec")
- one only needs to "reach" about 100 fusion reactions during the muon lifetime (2 μsec) (or to learn how to change the fermi constants G_F and other natural constants.)