

Ein Beschleuniger-betriebenes System
für Kernreaktoren
und zur Zerstörung von nuklearem Abfall

AKE Seminar Bad Honnef
21/22 Oktober 2004

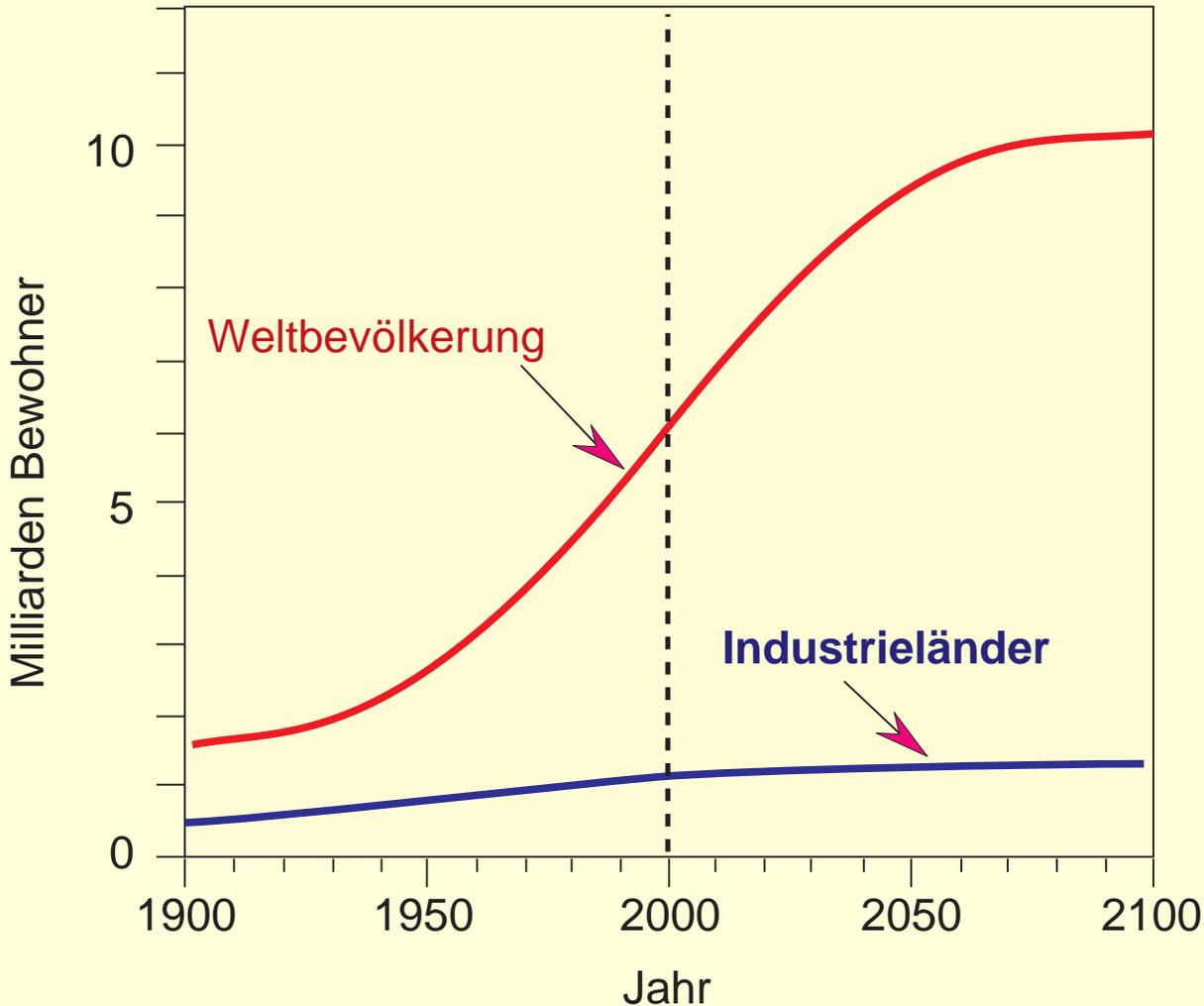
E. Radermacher
CERN & RWTH

Einige Bemerkungen zum Energieproblem

- Der Energieverbrauch auf der Welt wird weiter wachsen als Resultat von 2 Faktoren :
 - Die Erdbevölkerung wächst weiter stark an, hauptsächlich in den Entwicklungsländern, wo das wirtschaftliche Wachstum bedeutend ist.
 - Der pro Kopf Energieverbrauch wächst mit der wirtschaftlichen Entwicklung, was unausweichlich zu einem Schließen der Lücke im Energieverbrauch von Industrieländern und Entwicklungsländern führen wird.
- Genaue Voraussagen sind schwierig. Seit 1960 hat sich der Energieverbrauch verdreifacht. Nach der IEA soll er bis 2030 um weitere 70% wachsen. Nach Shell soll er sich bis 2050 verdoppelt oder verdreifacht haben.
- China und Indien stellen ungefähr die Hälfte der Weltbevölkerung dar. Im ersten Quartal diesen Jahres stieg der Ölverbrauch in China um 18%. Man rechnet, daß dort die Stromerzeugung um einen Faktor 6 bis 7 bis 2030 zunimmt. Wie löst man dieses Problem?

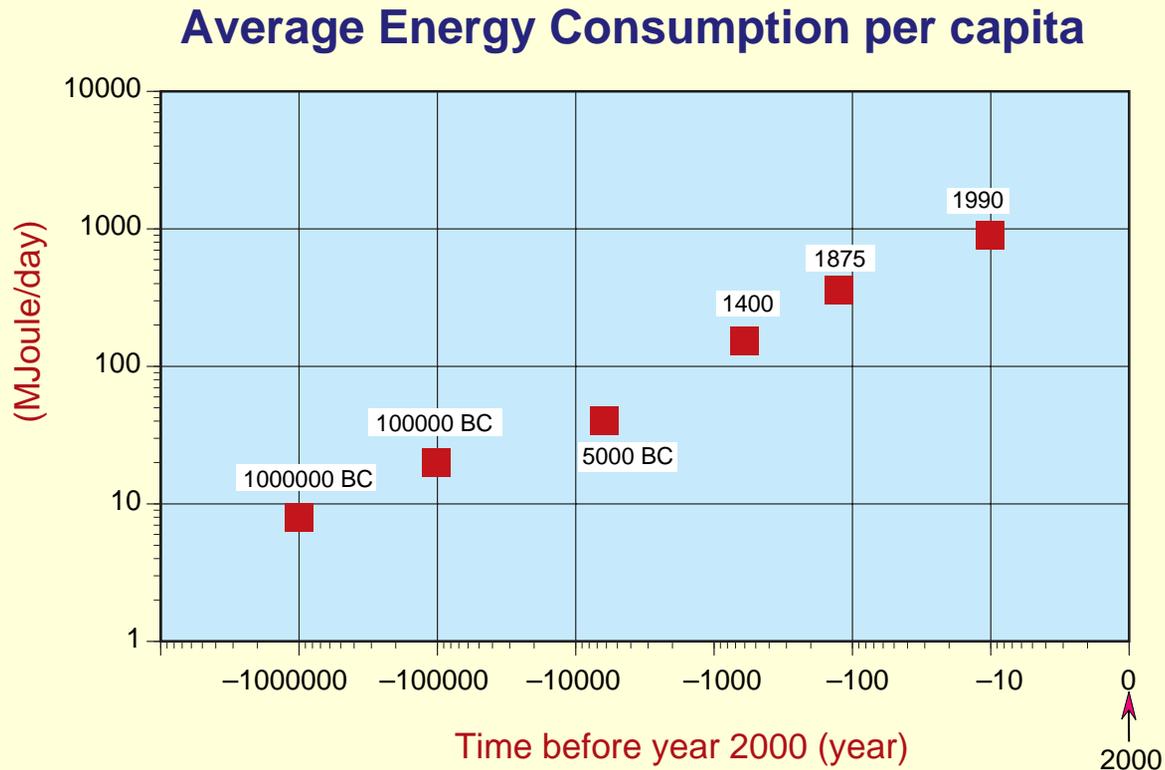
Die Entwicklung der Weltbevölkerung

Zunahme der Weltbevölkerung zwischen 1900 und 2100



Zwei Milliarden Menschen leben ohne Elektrizität, vier Milliarden ohne Auto

Pro Kopf Energieverbrauch



Approximate per capita consumption of energy as a function of time [R. A. Knief, 1992]. Energy for food gathering has been supplemented sequentially by that for household use (initially heating), organised agriculture, industry and transportation.

JPR/Sept.99

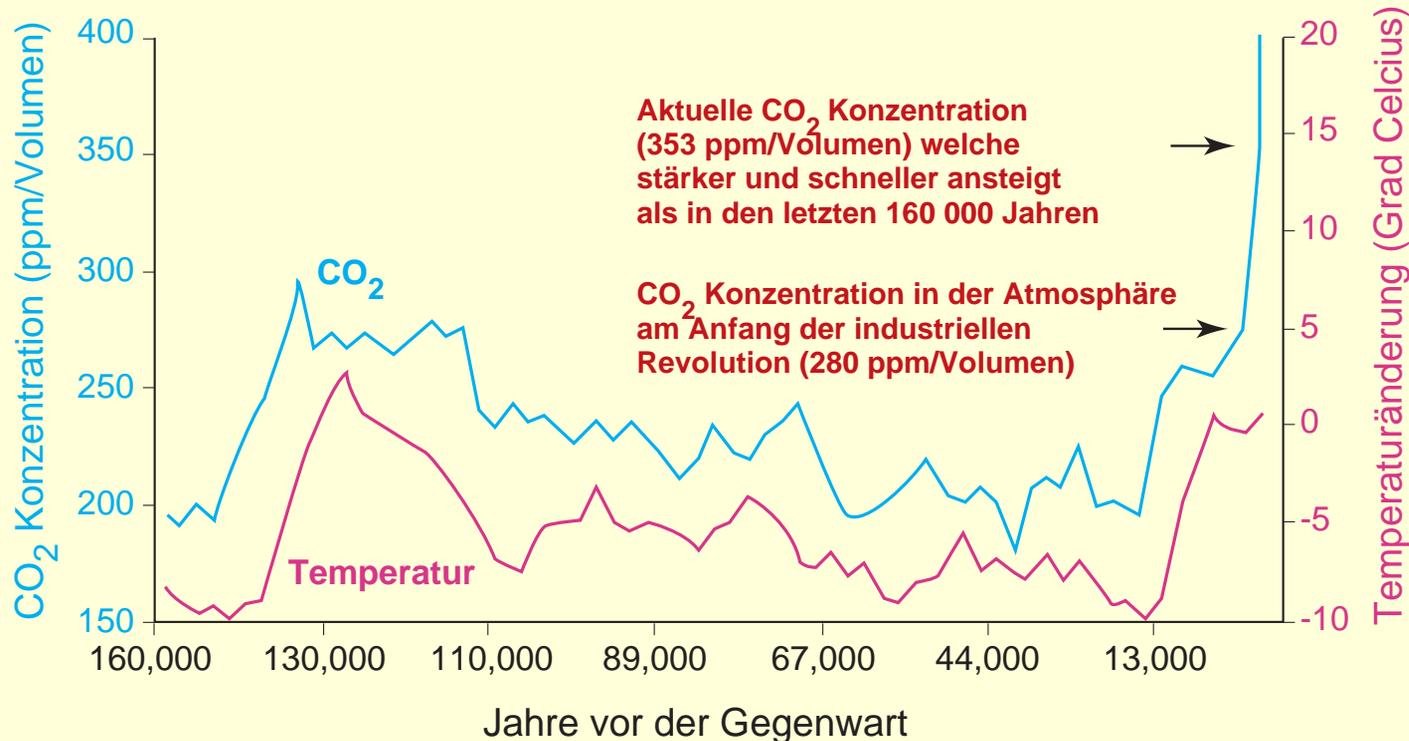
Die Herausforderung des Energieverbrauchs (1)

- Jährlicher Weltenergieverbrauch:
 $\sim 4 \times 10^{20}$ Joule ~ 13 TW \cdot y ~ 9600 MTOE
34% Stromerzeugung wobei 5.5% aus der Kernenergie stammen.
- **Herausforderung:** Wie kann man diese Energiemenge weiterhin produzieren und wie kann man sie erhöhen um ein berechtigtes Wirtschaftswachstum zu gewährleisten ohne das ökologische Gleichgewicht unseres Planeten zu zerstören?
- **Umwelteinfluss:** Wenn die Energie weiterhin so erzeugt wird, wird die Umweltverschmutzung dramatisch werden und unangenehme Folgen haben:
 - CO_2 , CH_4 , etc. \Rightarrow globale Erwärmung \Rightarrow Anheben des Meeresspiegels, unstabiles Klima etc.
 - SO_x , NO_x , Asche, Staub etc. \Rightarrow Luft- und Wasserverschmutzung (saurer Regen)
 - Nuklearer Abfall und nukleare Unfälle \Rightarrow Potentielle Verschmutzung welche irreversibel ist, gemessen an menschlichem Maßstab.

Wir haben die Wahl zwischen Pest und Cholera. Die Pest, das ist die Erwärmung des Klimas, die Cholera das atomare Restrisiko. (O. Renn)

Korrelation zwischen CO₂ und Temperatur

Korrelation* zwischen CO₂ und der Temperaturänderung seit 160 000 Jahren bis 2100



(*) Aus einer Studie des Polareises

Gasemission bei der Stromerzeugung

Emissionsabschätzung bei der Stromerzeugung [t/Gwatt•h]

	<u>Quelle</u>	<u>SO₂</u>	<u>NO_x</u>	<u>PM</u>	<u>CO₂</u>	<u>VOC</u>
<u>Fossile Energien</u>	<u>Kohle (Osten)</u>	1.74	2.90	0.10	1000	0.06
	<u>Kohle (Westen)</u>	0.81	2.20	0.06	1039	0.09
	<u>Ol</u>	0.51	0.63	0.02	840	0.03
	<u>Gas</u>	0.003	0.57	0.02	640	0.05
<u>Erneuerbare Energien</u>	<u>Biomasse</u>	0.06	1.25	0.11	0	0.61
	<u>Wind</u>	0	0	0	0	0
	<u>Geothermal</u>	0	0	0	0	0
	<u>Hydro</u>	0	0	0	0	0
	<u>Solar</u>	0	0	0	0	0
	<u>Kern</u>	0	0	0	0	0

SO₂: Schwefeldioxyd
NO_x: Stickstoffdioxyd
PM: Staubteilchen < 10 microns
CO₂: Kohlendioxyd
VOC: Flüchtige organische Verbindungen

Die Herausforderung des Energieverbrauchs (2)

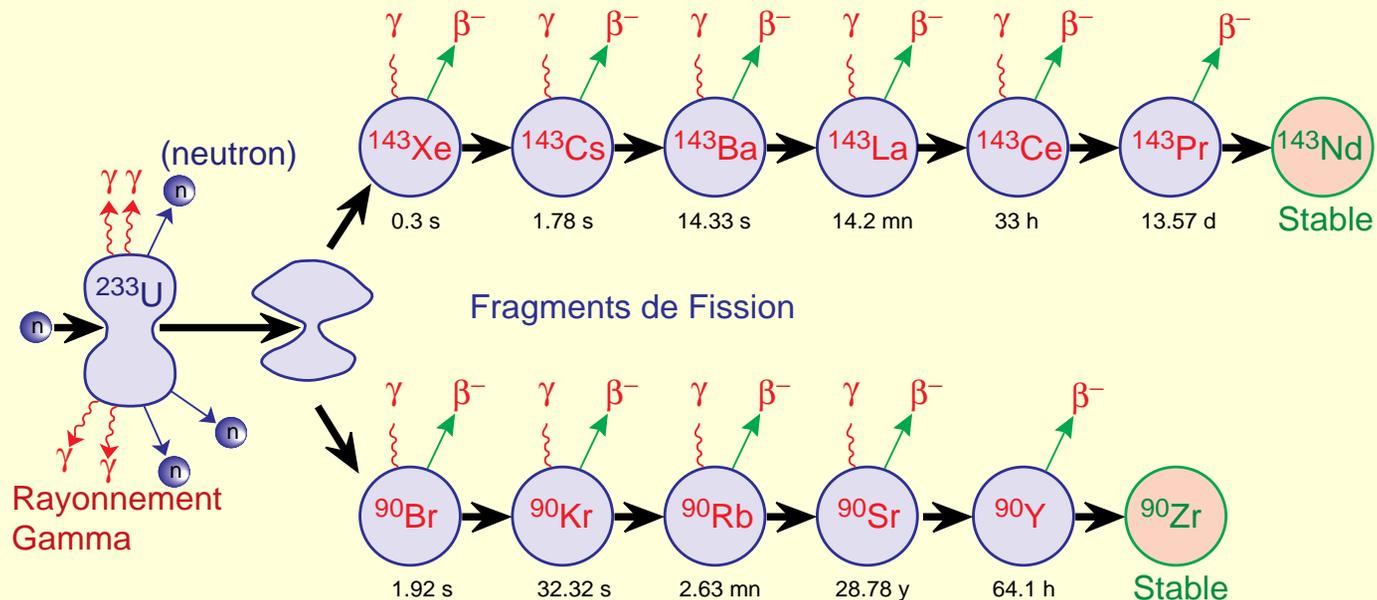
- Es gibt heute keine zufrieden stellende Lösung. Um das Problem zu lösen müssen neue Methoden erfunden werden um Energie wirtschaftlich konkurrenzfähig und ökologisch annehmbar zu produzieren. Langzeitig (i 50 Jahre) werden fossile Brennstoffe sowieso verbraucht sein. Wenn eine Lösung zum Energieproblem gefunden werden soll, so kann sie nur von einem systematischen F&E Programm herrühren. **Aus solch einem Programm sollte auch die Kernenergie nicht ausgeschlossen sein.**
- Das Energieproblem betrifft die ganze Welt. Industrieländer haben die moralische Pflicht Entwicklungsländern in ihrem Bemühen zu helfen.
- In diesem Sinne wurden Studien im CERN an einem Energieverstärker („energy amplifier“) begonnen mit der Überzeugung, daß kurzzeitig alle Energiequellen beitragen müssen, jedoch langfristig die Kernenergie die wichtigste Rolle spielt, aus 2 Gründen:
 - Die Zunahme der Stadtbevölkerung verhindert eine Ausweitung der erneuerbaren Energien (solar, Wind etc.) wegen Platzmangel.
 - Der notwendige Beenden der Erderwärmung verbietet den weiteren Gebrauch von fossilen Brennstoffen.

Der Energieverstärker

- Das Konzept des **Energieverstärkers** wurde von C. Rubbia und seiner Gruppe am CERN entwickelt und versucht die Bedenken der gegenwärtigen Nukleartechnologie auszuräumen:
 - Verbindung mit militärischer Nutzung und Angst vor Kernwaffenausbreitung.
 - Unglücke (Tschernobyl, Three Mile Island).
 - Problem des nuklearen Abfalls (teure und gefährliche Endlagerung)
- Das vorgeschlagene System ist optimal ausgelegt auf die Zerstörung von nuklearem Abfall, weil dies die Hauptpriorität für die Industrieländer ist. Energieproduktion ist dagegen die Priorität in anderen Ländern, z. B. in China oder Indien.
- **Transurane** und **Spaltprodukte** sind die Hauptkomponenten des nuklearen Abfalls. Transurane können durch Spaltung, Spaltprodukte durch Neutroneneinfang zerstört werden. Transurane sind am gefährlichsten, deshalb wurde der Energieverstärker hauptsächlich auf ihre Zerstörung ausgelegt.

Nuklearer Abfall

- Transurane und Spaltprodukte sind die Hauptkomponenten des nuklearen Abfalls im Brennstoffzyklus:
 - ✍ **TRansUrane (TRU)** (1.1%: Np, Pu, Am, Cm, Bk, etc.) durch Neutroneneinfang im Brennstoff und nachfolgendem Zerfall ($n + {}^{238}\text{U} \rightarrow {}^{239}\text{U}$ ($t_{1/2} \sim 23$ min) $\rightarrow {}^{239}\text{Pu}$, etc.), etwa 100 t/y Weltproduktion an ${}^{239}\text{Pu} \Rightarrow$ zerstört durch Spaltung.
 - ✍ Spaltprodukte ($\sim 4\%$) produziert im Spaltprozess \Rightarrow zerstört durch Neutroneneinfang.



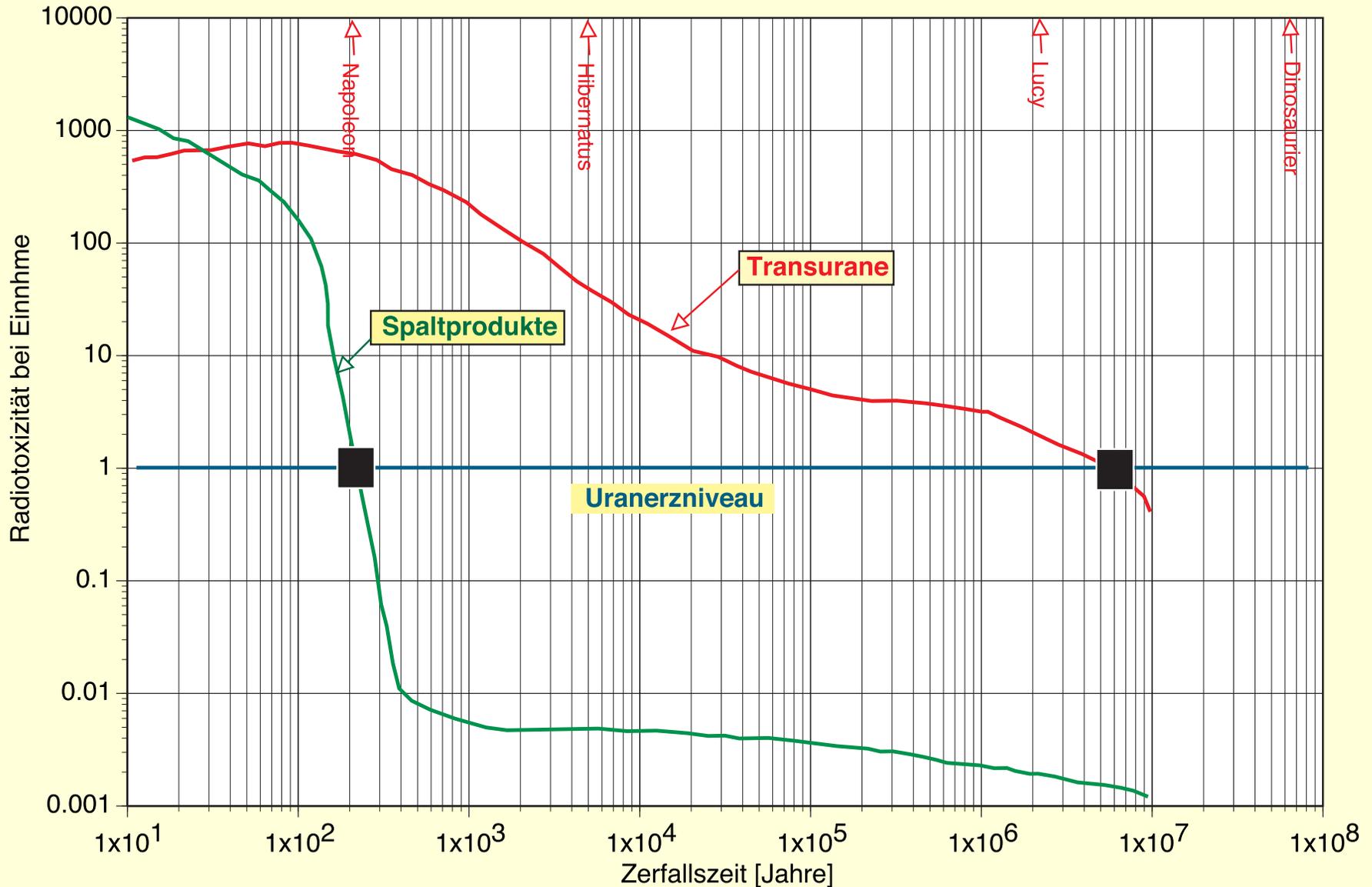
Produktion von nuklearem Abfall

(1995)	1 PWR of 1 GWe	France (59 GWe, 54 PWRs)	World
Energy produced	6 TWe×h	359 TWe×h	2130 TWe×h
Uranium (0.9% ²³⁵ U)	20 t	1200 t	7100 t
Pu	200 kg(*)	12 t	71 t
Np	10.4 kg	620 kg	3690 kg
Am	9.8 kg (□ 5yrs)	590 kg	3480 kg
Cm	0.8 kg	48 kg	285 kg
99-Tc	18 kg	1080 kg	6390 kg
129-I	3 kg	180 kg	1065 kg

Verbraucher Brennstoff eines 1300 MW_e Druckwasserreaktors:

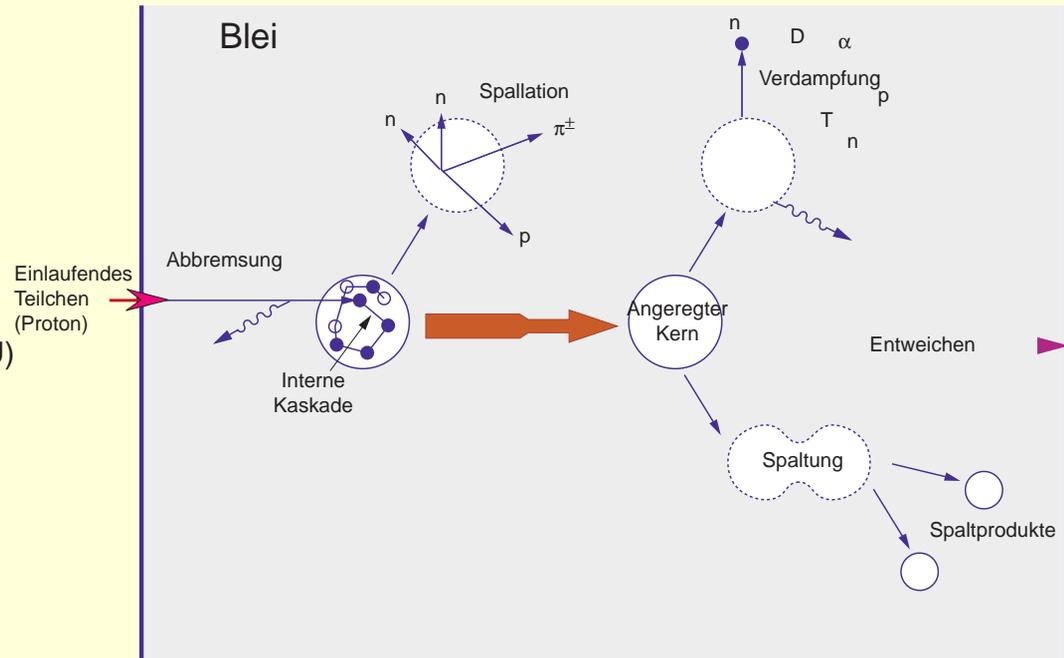
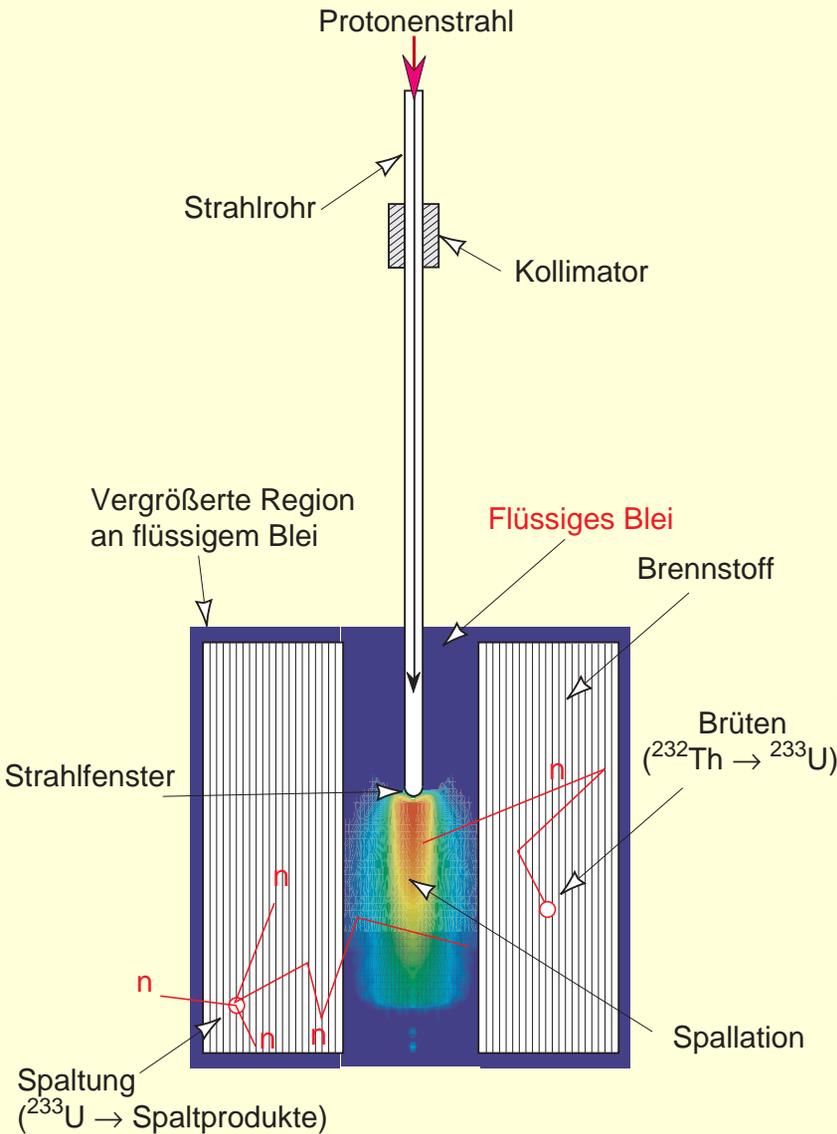
- 33 t leicht angereichertes Uran (0.9% ²³⁵U)
- 360 kg Plutonium
- 27 kg an Transuranen:
 - 14 kg Neptunium
 - 12 kg Americium
 - 1kg Curium
- 1200 kg an Spaltprodukten (Cäsium, Rubidium, Strontium etc.)

Zeitentwicklung der Radiotoxizität relativ zu Uranerz



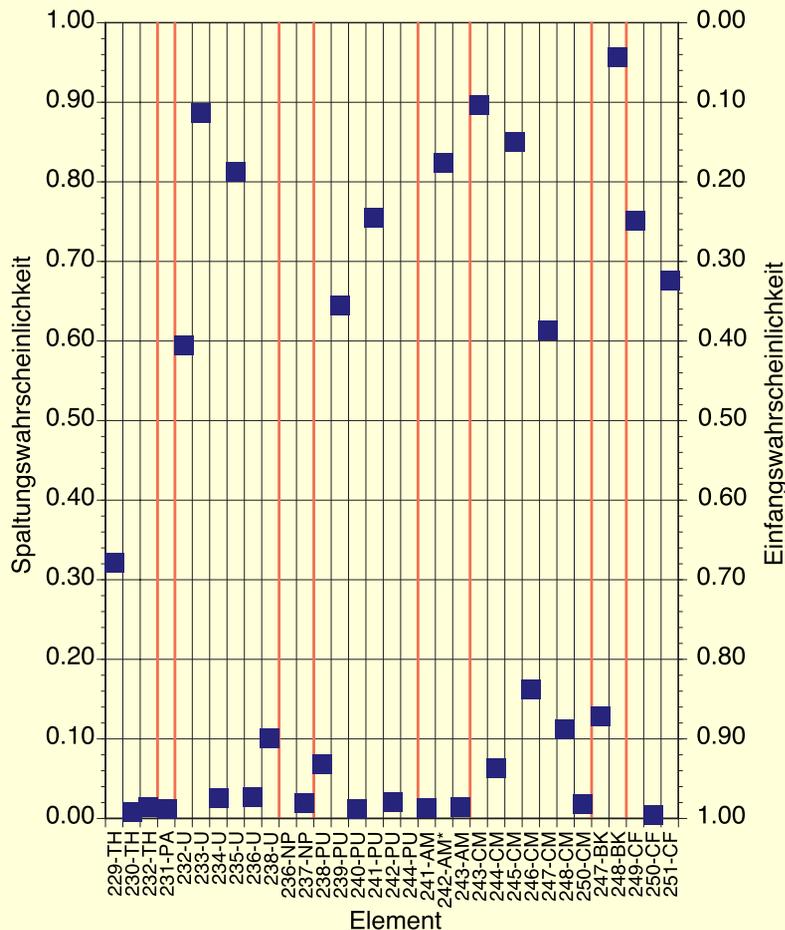
Der Energieverstärker (EA)

Der Energieverstärker ist ein unterkritisches System, er arbeitet mit schnellen Neutronen und wird mit einem Beschleuniger betrieben. Flüssiges Blei (10^4 t) dient als Target zur Erzeugung von Neutronen, als Moderator für Neutronen und als Kühlmittel.

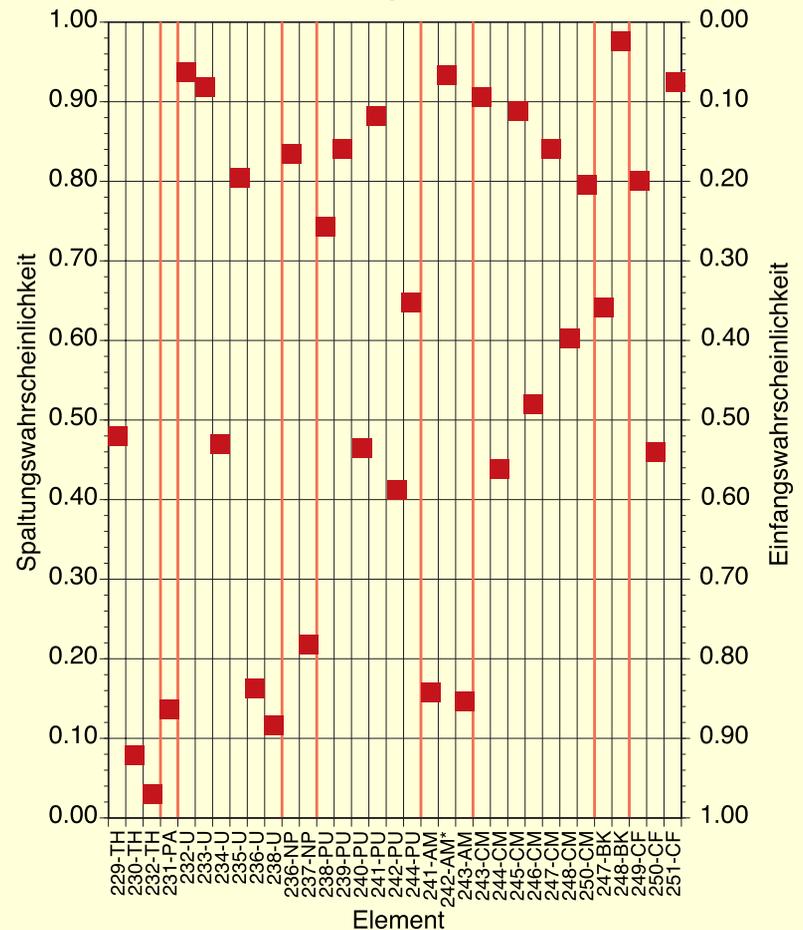


Neutronenspektren

Thermisches Neutronenspektrum
eines Druckwasserreaktors



Schnelles Neutronenspektrum
eines Energieverstärkers

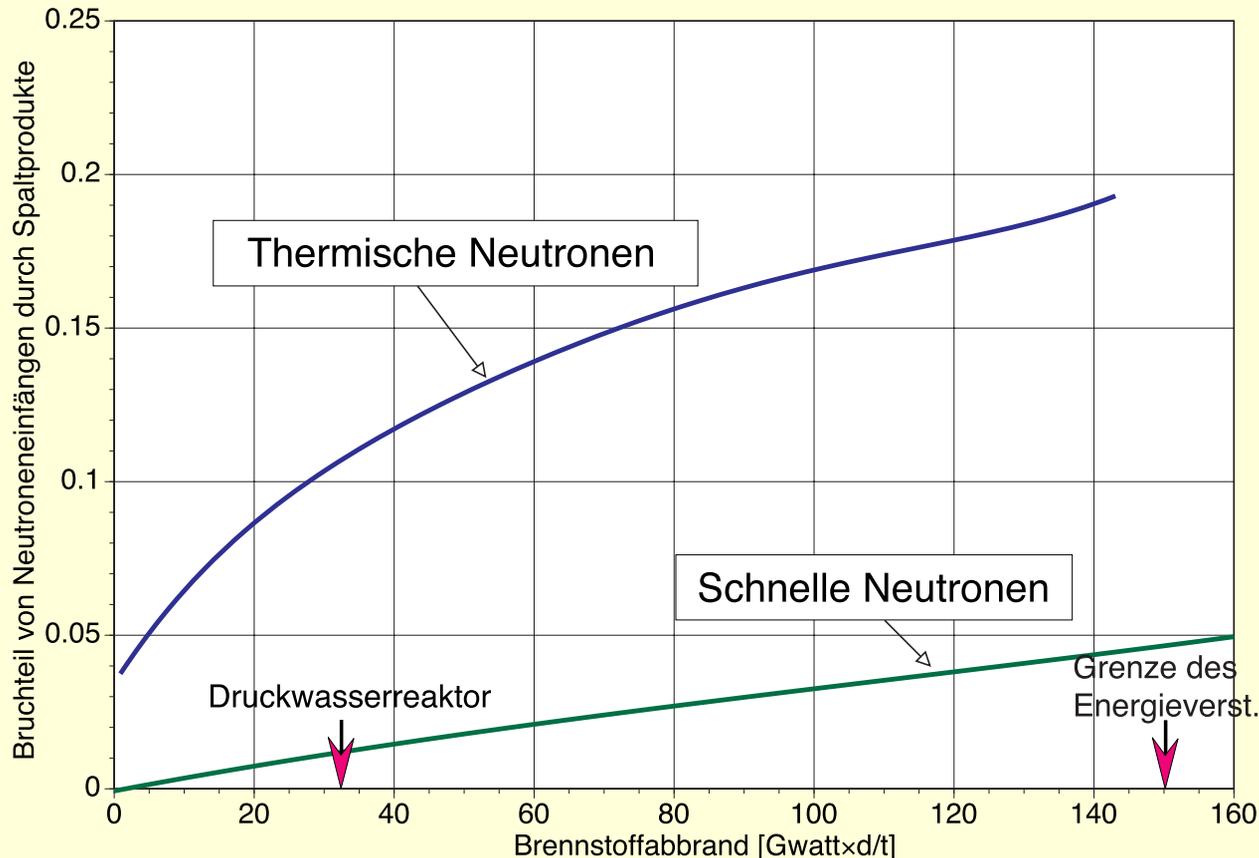


Blei als Moderator im EA garantiert „härteste“ Neutronen \Rightarrow Spaltung der Transurane.

Im DWR werden viele Transurane nicht gespalten \Rightarrow Anhäufung des Abfalls.

Vergleich zwischen Druckwasserreaktor (DWR) und EA

- σ_{capt} von n_{schnell} durch Spaltprodukte $<$ σ_{capt} von n_{th} durch Spaltprodukte
- Neutroneneinfang durch Spaltprodukte Haupteinschränkung für langen Brennstoffzyklus im DWR.



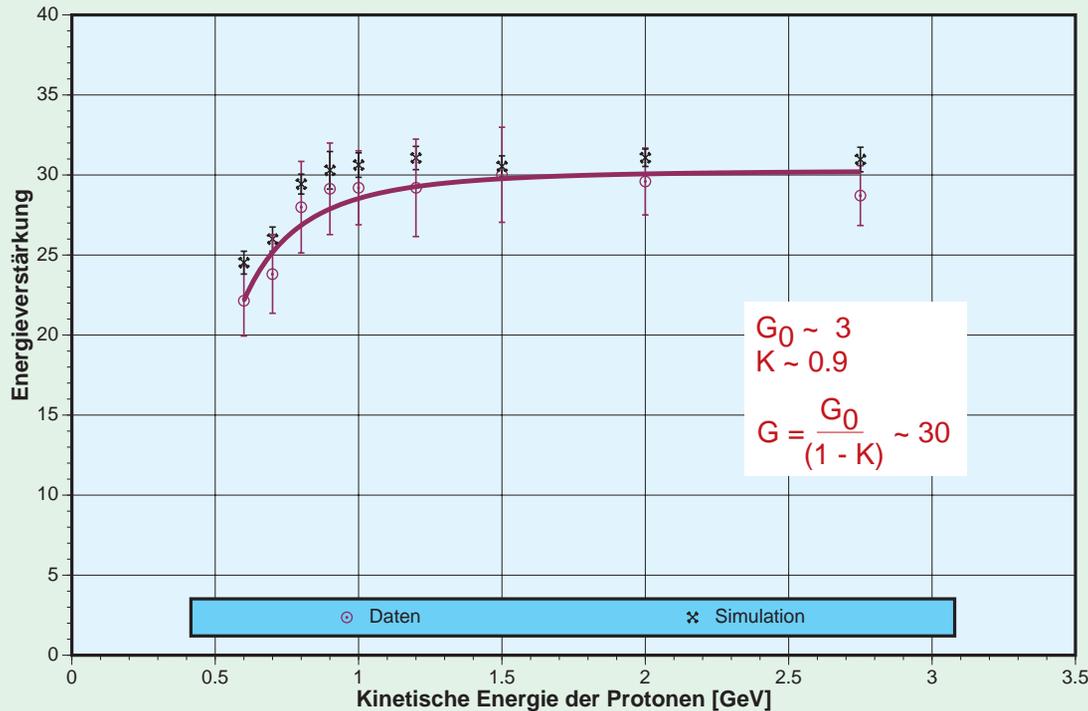
⇒ Brennstoff im EA kann mit höherem Wirkungsgrad benutzt werden, d. h. längerer Abbrand.

Energieverstärkung

Der EA hat einen Neutronenmultiplikationsfaktor k von 0.98, d.h. die Aufrechterhaltung der Kernreaktion ist nur mit äußerer Quelle möglich \Rightarrow System unterkritisch per Konstruktion \Rightarrow Unfälle der Tschernobyl Art ausgeschlossen.

$$\text{Energieverstärkung} = \frac{\text{Energie aus EA}}{\text{Energie vom Strahl}}$$
$$= \frac{G_0}{(1 - k)}$$

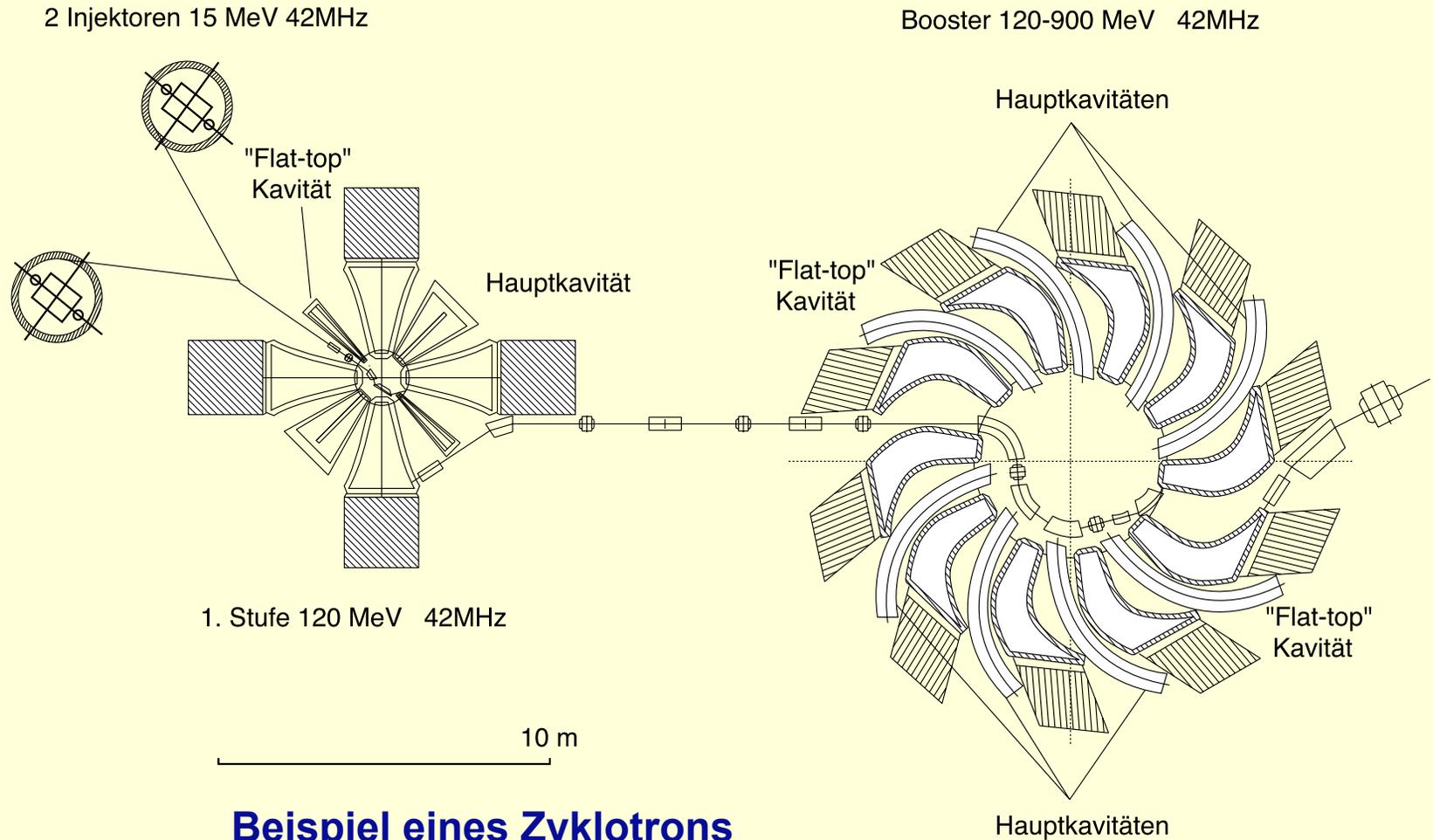
Energieverstärkung verglichen zur kinetischen E nergie
(Daten & Simulation)



Im FEAT Experiment im CERN untersucht:

- Energieverstärkung unabhängig von Protonenenergie.
- Beschleuniger von bescheidenem Ausmaße (20 mA bei 1 GeV).

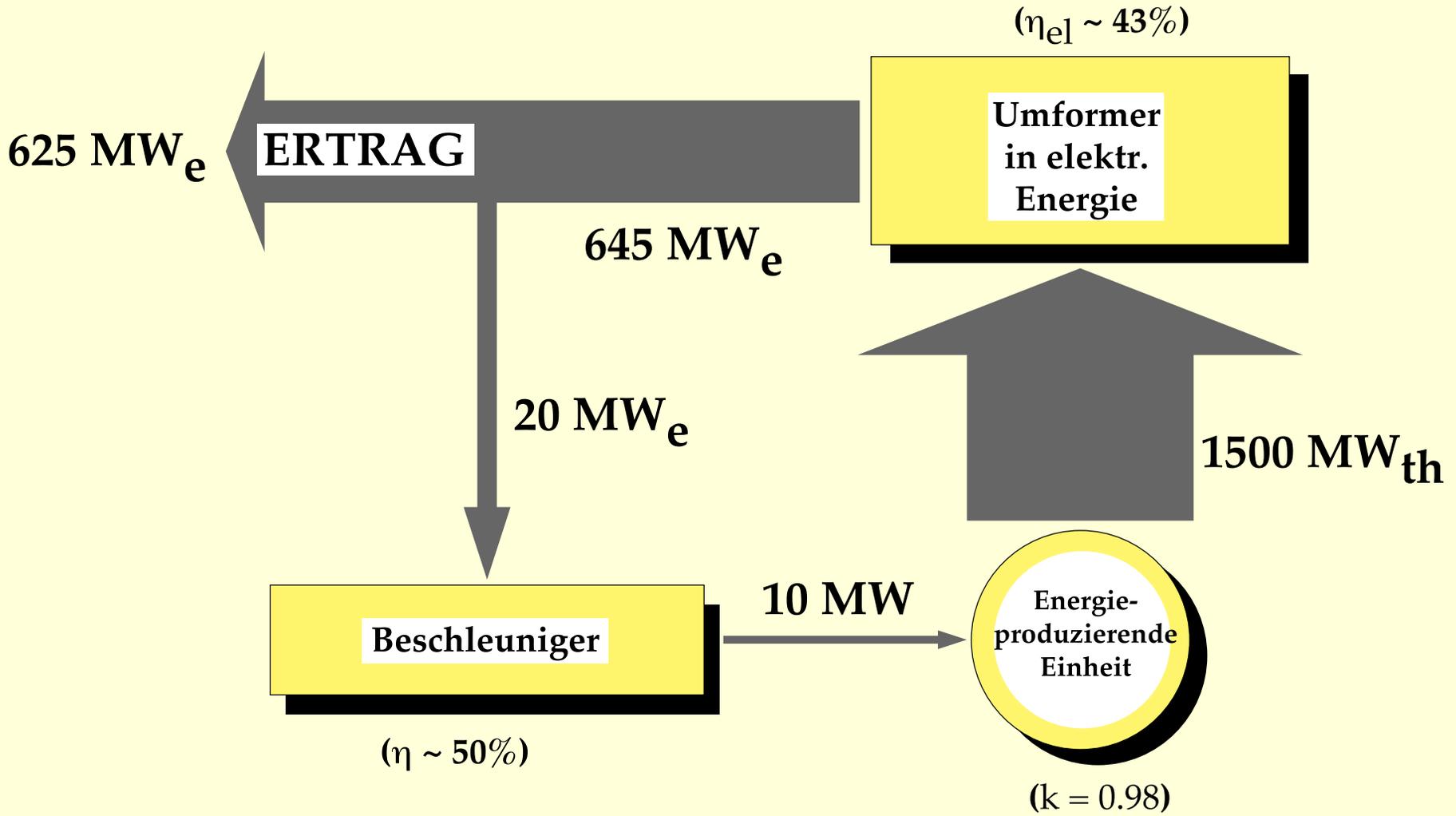
Der Beschleuniger



Beispiel eines Zyklotrons

Beispiele von Hochleistungsbeschleunigern existieren schon oder sind geplant (PSI, Los Alamos, CEA, Japan).

Die Energiebilanz



Zerstörung von nuklearem Abfall

Der Fall der Transurane

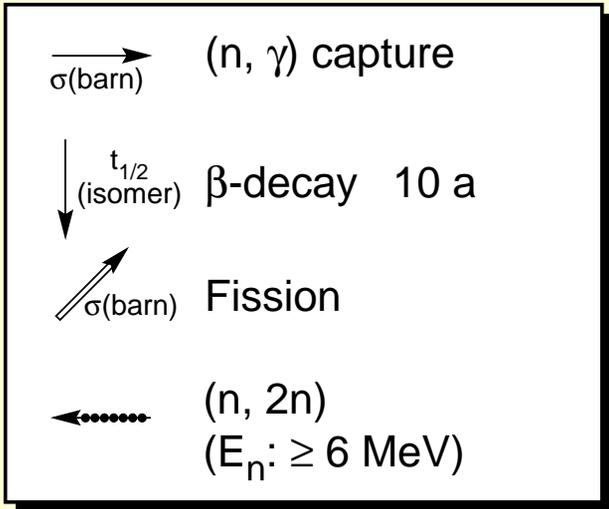
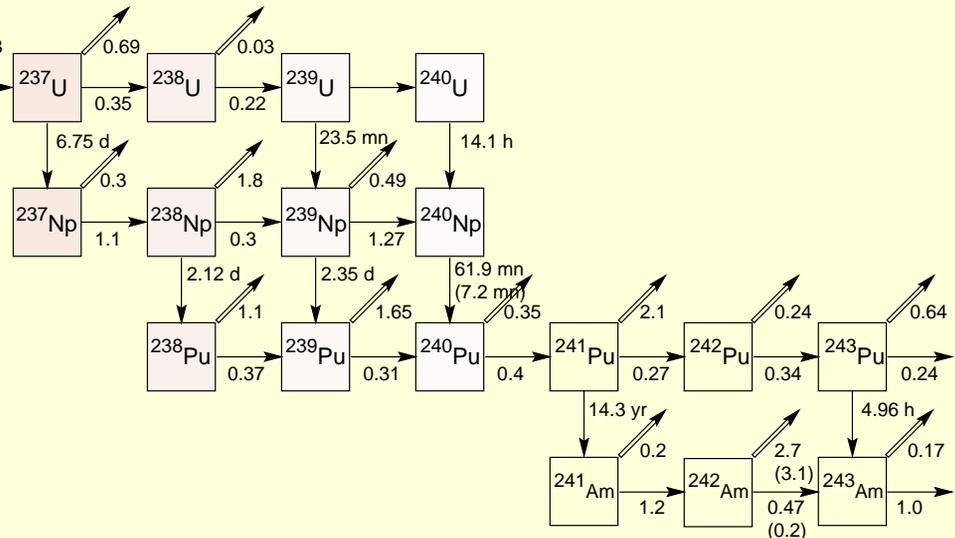
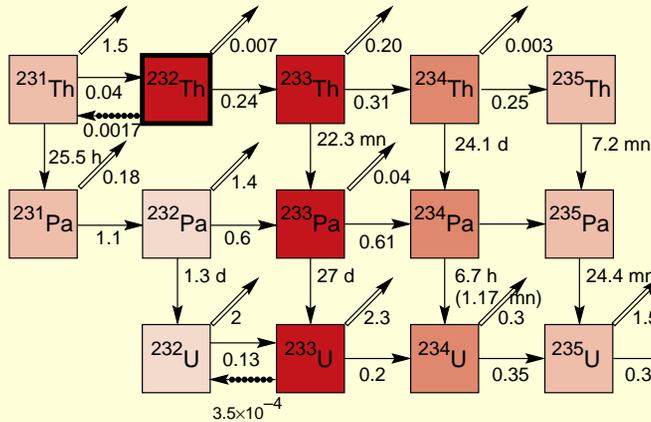
- Brennstoff: Th + Pu statt U + Pu
 - ✍ Th fünfmal häufiger als U
 - ✍ Th nicht spaltbar
 - ✍ Th isotopisch rein als ^{232}Th , kann als natürliches Th im EA benutzt werden (nur 0.5% ^{235}U in natürlichem Uran)
 - ✍ Th ist 5 Neutroneneinfänge von Transuranen entfernt.
- Externe Neutronenquelle erlaubt den Betrieb des unterkritischen Systems aufrecht zu erhalten. Die Energie wird erzeugt durch Spaltung von:
 - ^{233}U gebrütet aus ^{232}Th
 - Beimischungen von spaltbarem Material aus früheren Brennstoffzyklen (^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu , TRU)
- Die Zerstörung der Transurane mit Energiegewinnung ist wirtschaftlich attraktiv, stellen die Transurane doch 40% der Energiequelle dar, welche ein DWR bei der Herstellung dieser Transurane liefert.
- Im EA wird Th in einem Modus benutzt, wo mehr Transurane zerstört als erzeugt werden.

Thorium als Brennstoff

CHOICE OF FUEL: Thorium [$^{232}\text{ThO}_2$ (+ $^{233}\text{UO}_2$)]

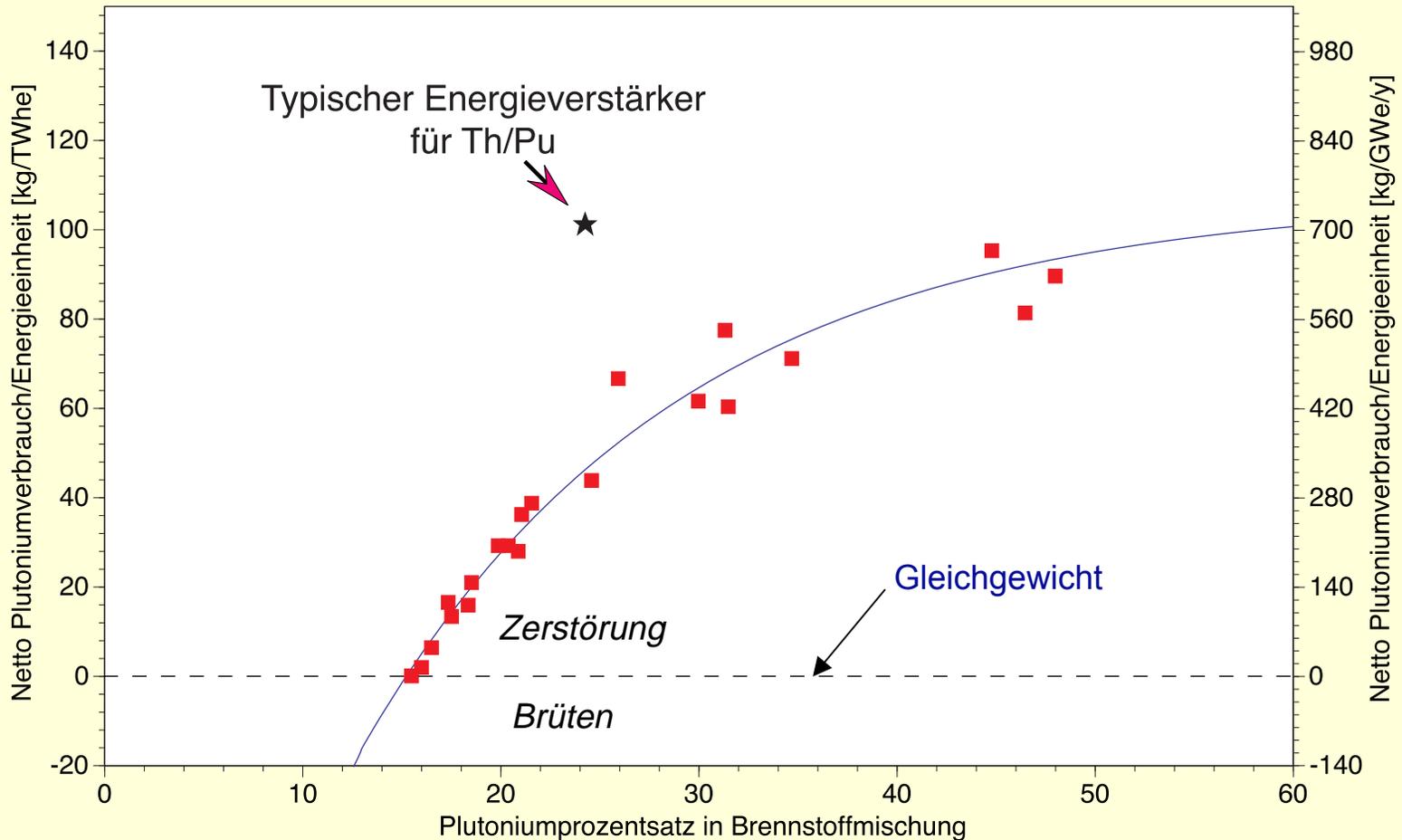


Among the 60% of neutrons not used for fission, 20% are lost and 40% are used to breed ^{233}U from ^{232}Th . In this way, new fissile material replaces what is used for fission.



Note the difference between ^{232}Th and ^{238}U !

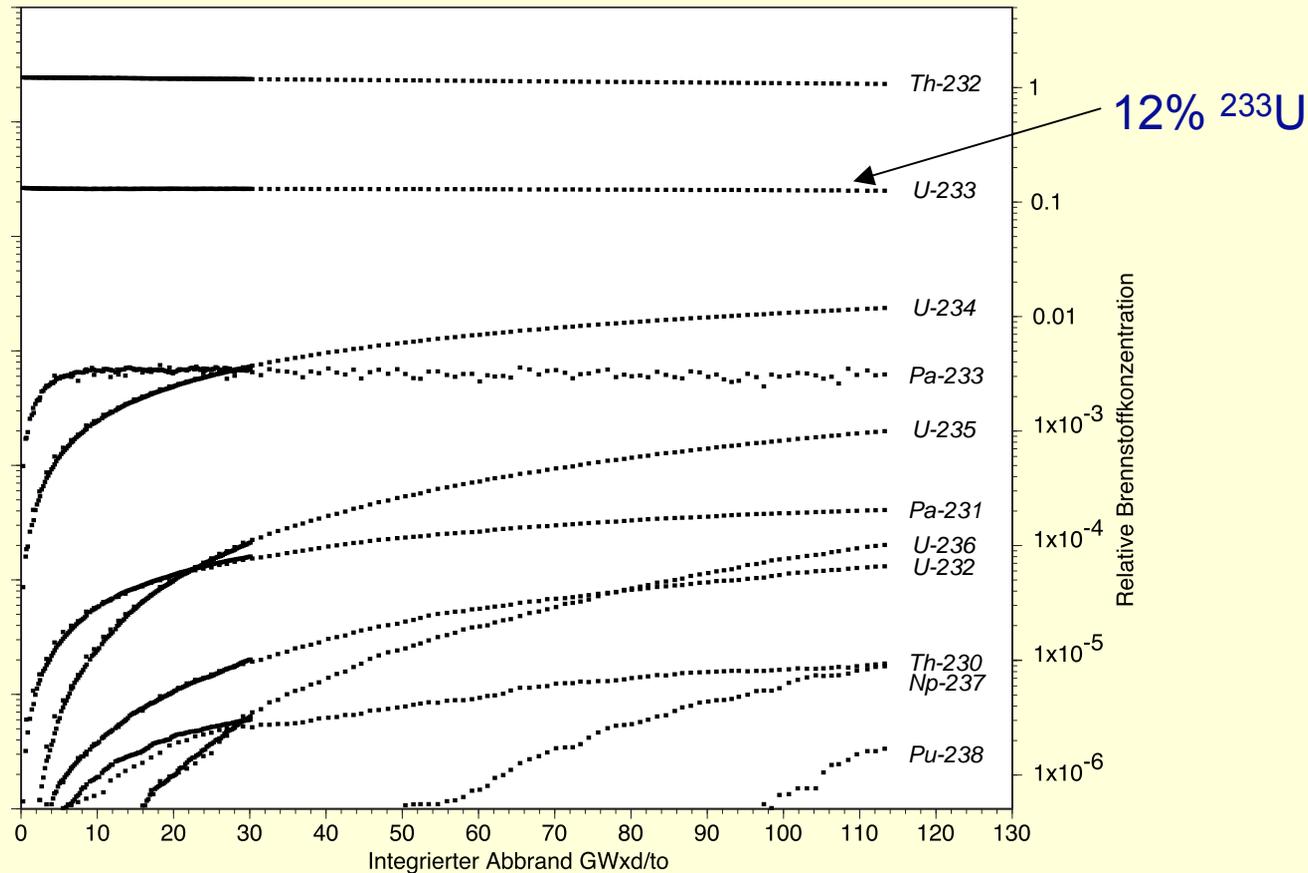
Plutoniumkonzentration von U-Pu Brüter (CAPRA)



Die hohe Gleichgewichtskonzentration (15%) von Pu in Uransystemen verlangt eine sehr große Pu-Anreicherung \Rightarrow System äußerst gefährlich.

Für Zerstörung der Transurane ist Thoriumsystem plausibler als Uransystem.

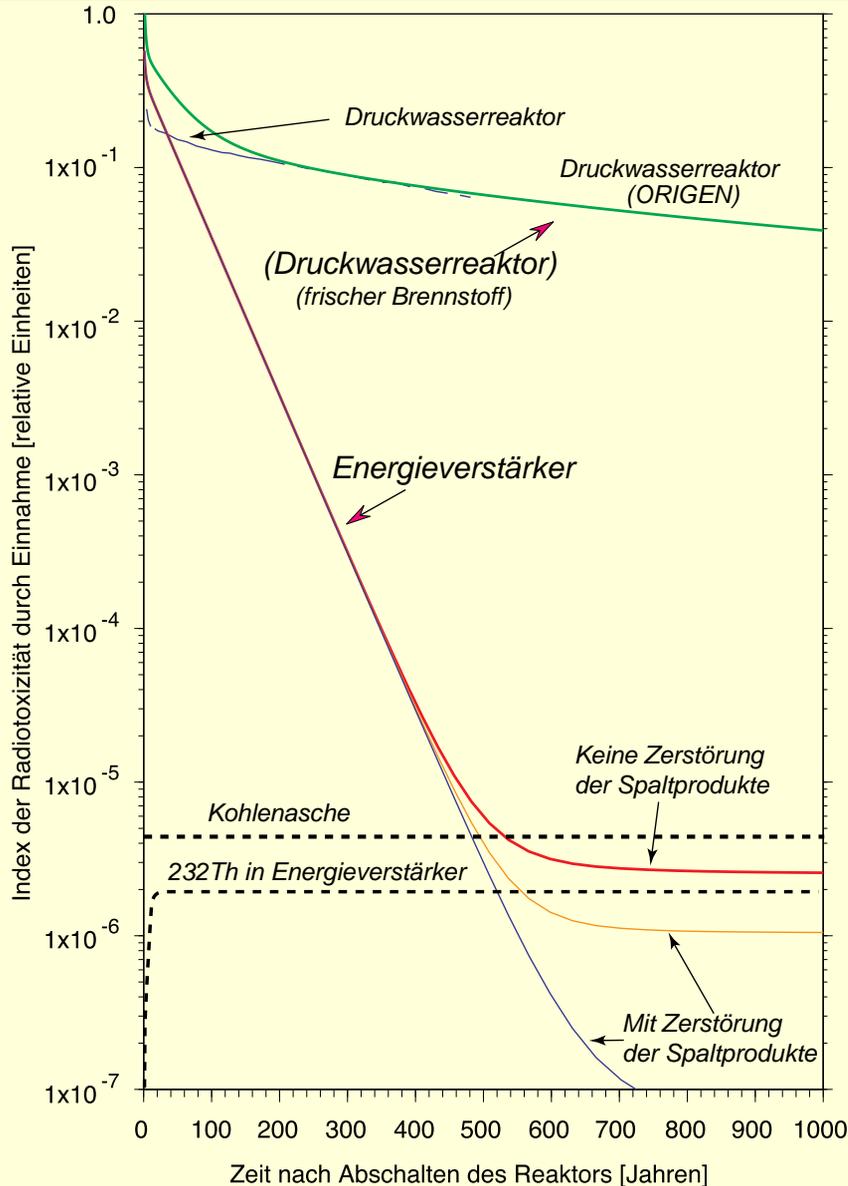
Gleichgewichtskonzentrationen im EA



Gleichgewichtskonzentrationen in der Größenordnung von 10⁻⁵ erlauben große Zerstörungsrate bei mäßiger Transurankonzentration.

Studie: Ein 1500 MW_{th} EA zerstört 298 kg TRU pro GW•Jahr, ein DWR produziert 123 kg TRU pro GW•Jahr.

Zerstörung von nuklearem Abfall



Der Fall der langlebigen Spaltprodukte

- Im EA, in dem die TRU zerstört werden, wird die langzeitliche Radiotoxizität (> 500 Jahre) des Abfalls durch die langlebigen Spaltprodukte beherrscht.
- Da jedoch die häufigsten Spaltprodukte (95%), ^{99}Tc und ^{129}I , in Wasser löslich sind, ist es ratsam, sie zu zerstören.

FISSION FRAGMENTS ACTIVITY AND TOXICITY AFTER 1000 YEARS OF COOL-DOWN

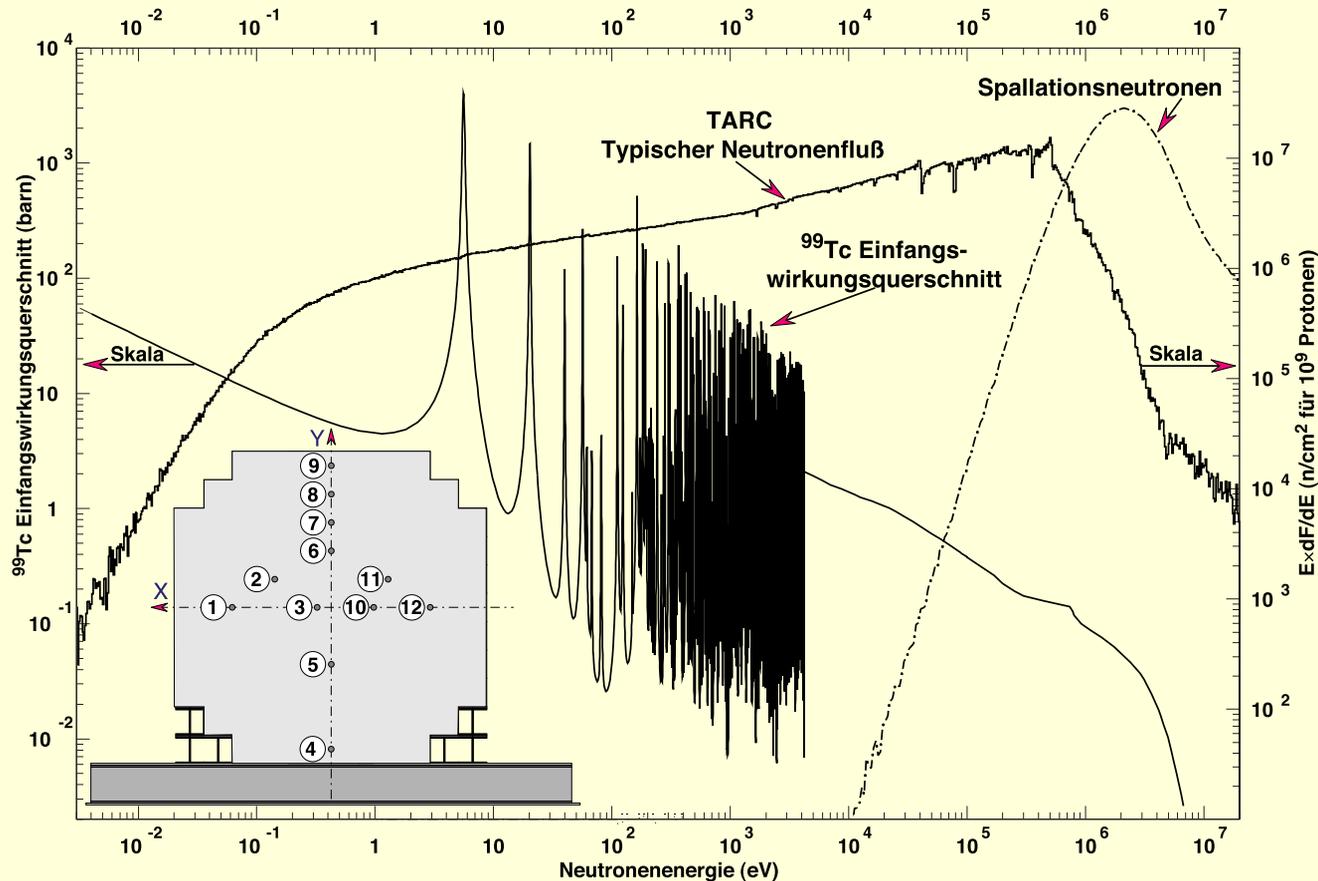
IN A SECULAR REPOSITORY

(VALUES ARE GIVEN FOR 1 $\text{GWE} \times \text{YEAR}$)

Radio-Isotope	Half-Life (years)	Mass (kg)	Activity @ 1000 yr (Ci)	Ingestive Toxicity (Sv) $\times 10^3$
^{129}I	1.57×10^7	8.09	1.43	19.58
^{99}Tc	2.11×10^5	16.61	284.29	27.67
^{126}Sn	1.0×10^5	1.187	33.79	3.20
^{135}Cs	2.3×10^6	34.12	39.32	9.87
^{93}Zr	1.53×10^6	26.11	65.64	2.38
^{79}Se	6.5×10^5	0.30	2.06	0.745

Die adiabatische Resonanzüberquerung (ARC)

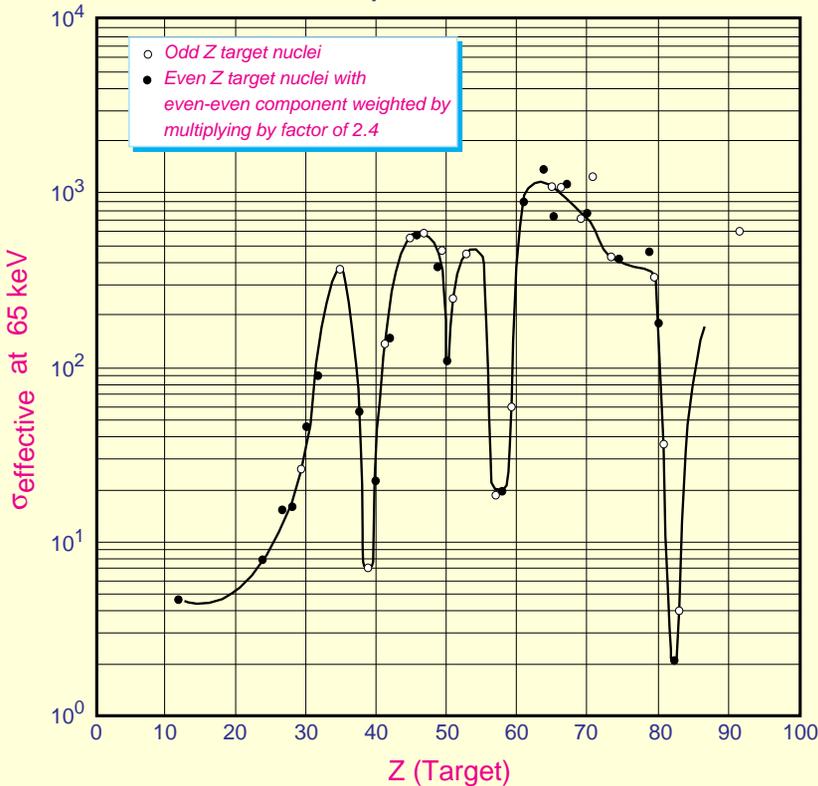
- C. Rubbia schlug das Prinzip der adiabatischen Resonanzüberquerung zur Zerstörung der Spaltprodukte vor.
- Dabei wird die Neutroneneinfangwahrscheinlichkeit für Spaltprodukte erhöht.



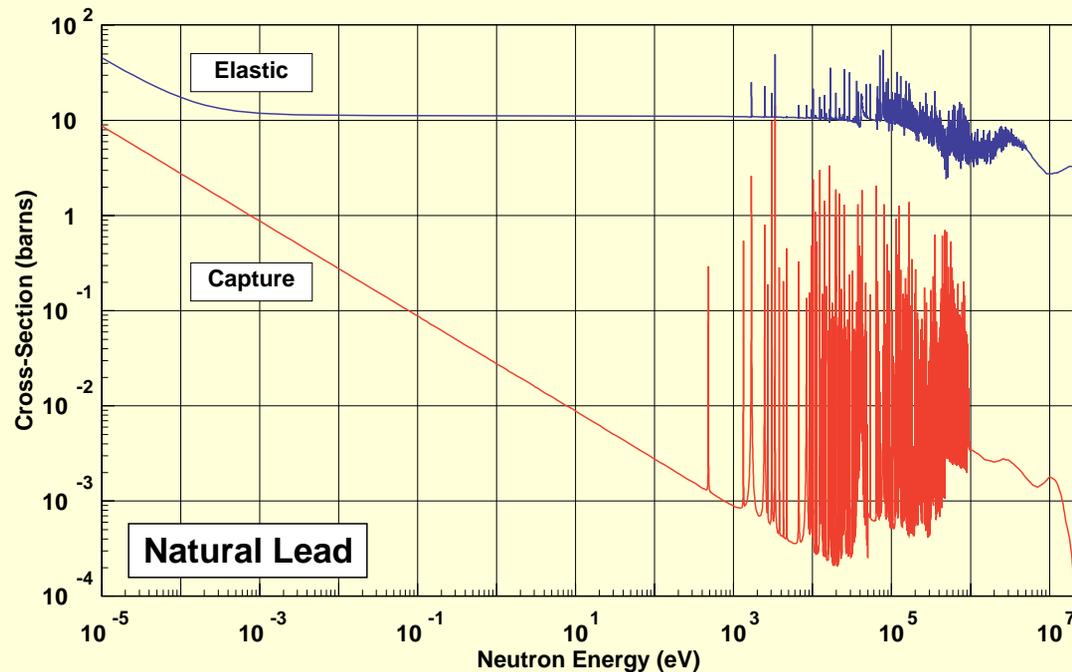
Dies wurde im TARC Experiment im CERN überprüft (Spallation in einem 300 t Bleiblock)

Eigenschaften von Blei

Neutron Capture Cross-sections



Das TARC Experiment zeigte, daß das eigentümliche Verhalten von Neutronen in Blei es erlaubt, maximale Wahrscheinlichkeiten für Neutroneneinfang zu erreichen

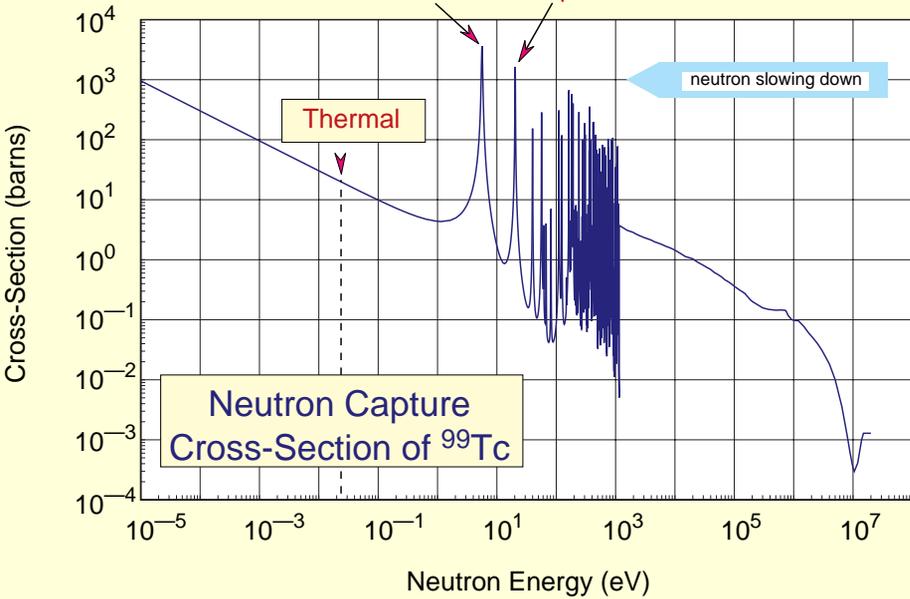


Eigenschaften von Blei:

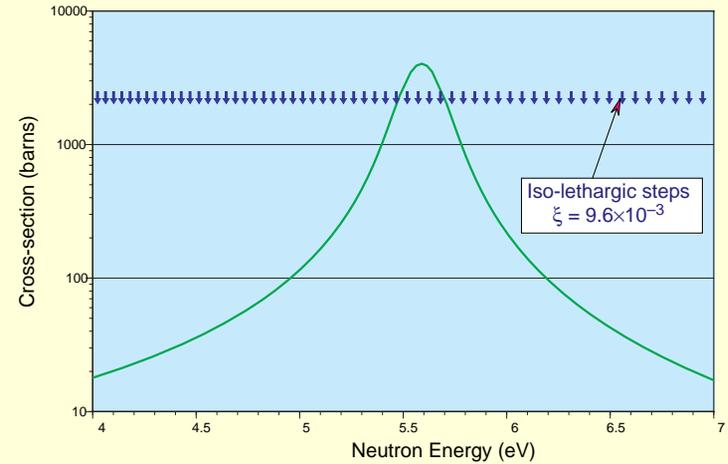
- kleines $\sigma_{\text{capt.}}$, $\lambda_{\text{mig.}} = 1.2 \text{ m}$
- großes $\sigma_{\text{elast.}}$, $\lambda_{\text{elast.}} = 3 \text{ cm}$,
- kleines $\Delta E/E$,

d.h. von allen schweren Elementen am transparentesten.

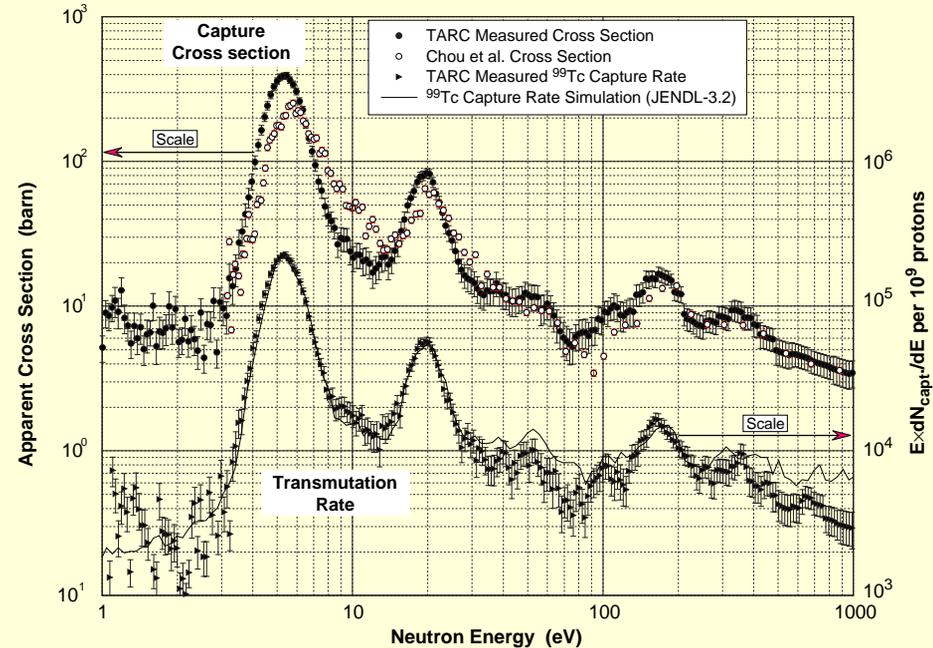
Transmutation durch Neutroneneinfang in ^{99}Tc



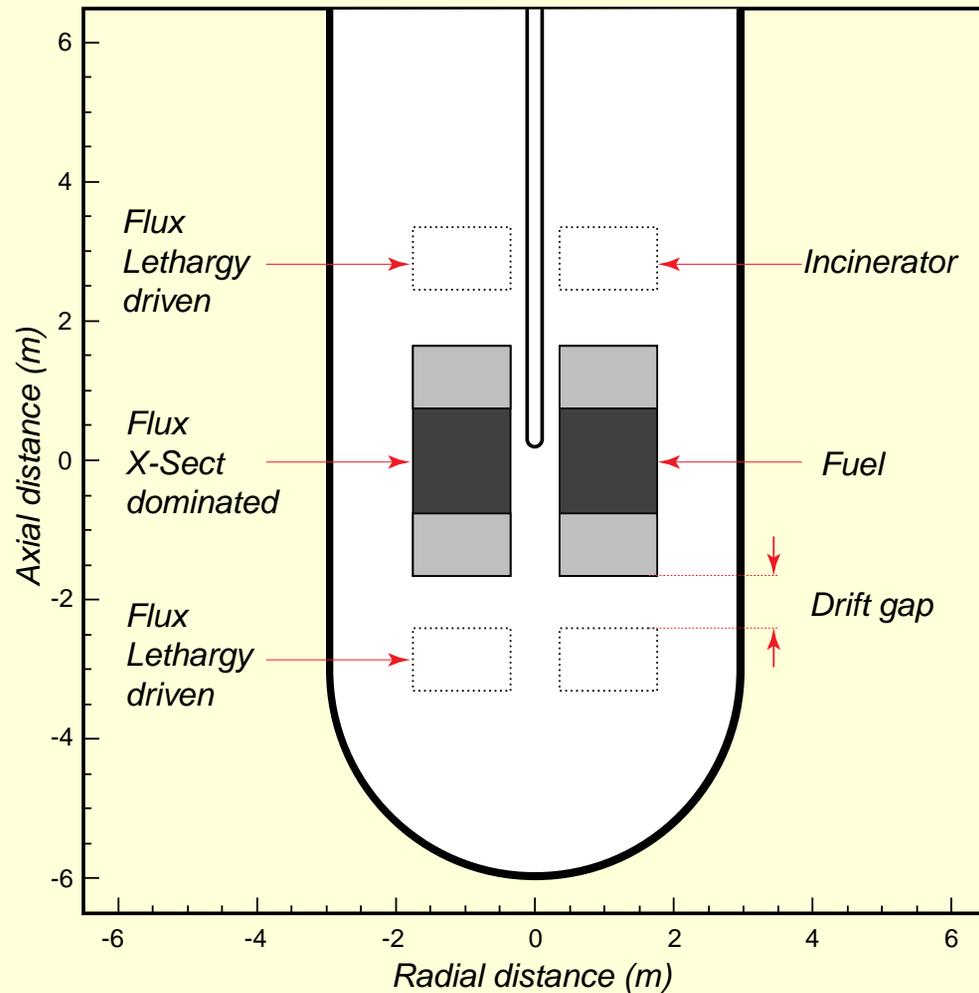
Adiabatic Crossing of the 5.6 eV Resonance of ^{99}Tc



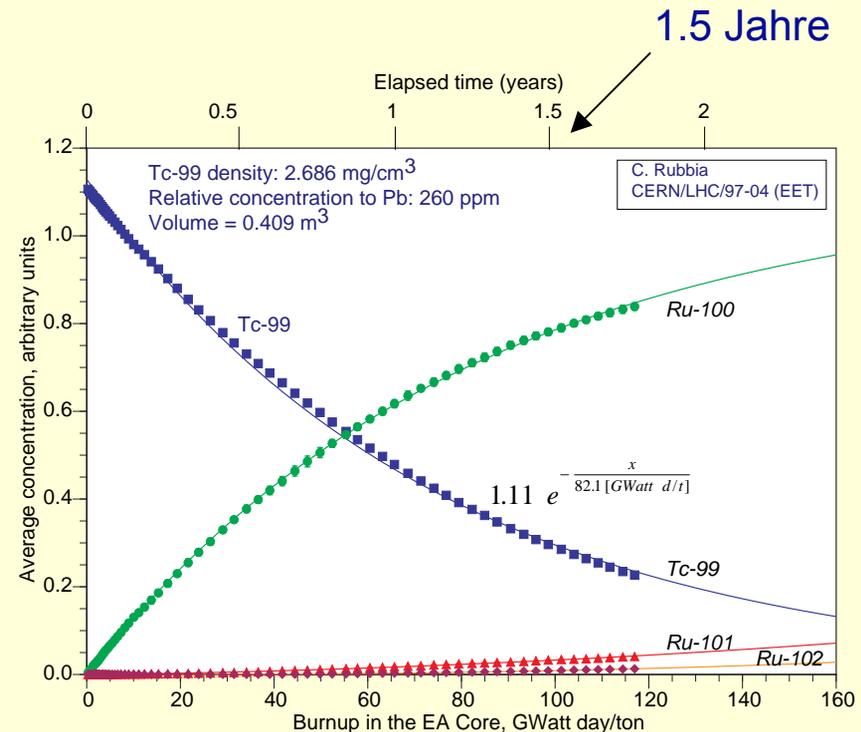
Die Transmutationsrate wurde im TARC Experiment experimentell verifiziert.



Der EA als Transmuter



Die Transmutation kann parallel zur Energieerzeugung und Zerstörung der Transurane im EA ablaufen, und zwar in der Nähe des EA Kerns, wo doppelt so viele Spaltprodukte zerstört werden wie sie in derselben Zeit erzeugt wurden,



Die Abfallbeseitigung

- 65.4% unverbranntes Uran (wieder verwendbar), 31% aktiviertes Material (abtrennbar), 3.6% TRU und Spaltprodukte.
 - TRU (21.1%) werden im EA verbrannt.
 - Spaltprodukte (78.9%) in drei Klassen aufgeteilt:
 - ^{90}Sr (1.1%) und ^{137}Cs (6.5%): Halbwertszeit von 30 Jahren \Rightarrow Zwischenlager.
 - ^{85}Kr zurückhalten ($t_{1/2} = 10.7$ Jahre) \Rightarrow Atmosphäre.
 - Rest (71.3%): Dauer des Aufbereitungsverfahrens erfüllen „Class A LLW (Low Level Waste)“ und können nach Vorschriften der „US NRC Regulations“ an der Erdoberfläche gelagert werden. Jedoch sollten ^{99}Tc (1.7%) und ^{129}I (0.4%) aus Umweltgründen im EA umgewandelt werden.
- Bei einer Abfallmenge von 242 kg, typisch für den Betrieb eines 1 Gw_e Druckwasserreaktors pro Jahr, kann die Zerstörung von Transuranen in einem EA von 1500 MW in 0.6 Jahren erfolgen. Diese Strategie, welche letztendlich ein relativ kleines Volumen von nuklearem Abfall hinterläßt, ist einfacher als die Lagerung des gesamten Abfalls in geologischen Lagerstätten.

Die Simulationsrechnungen

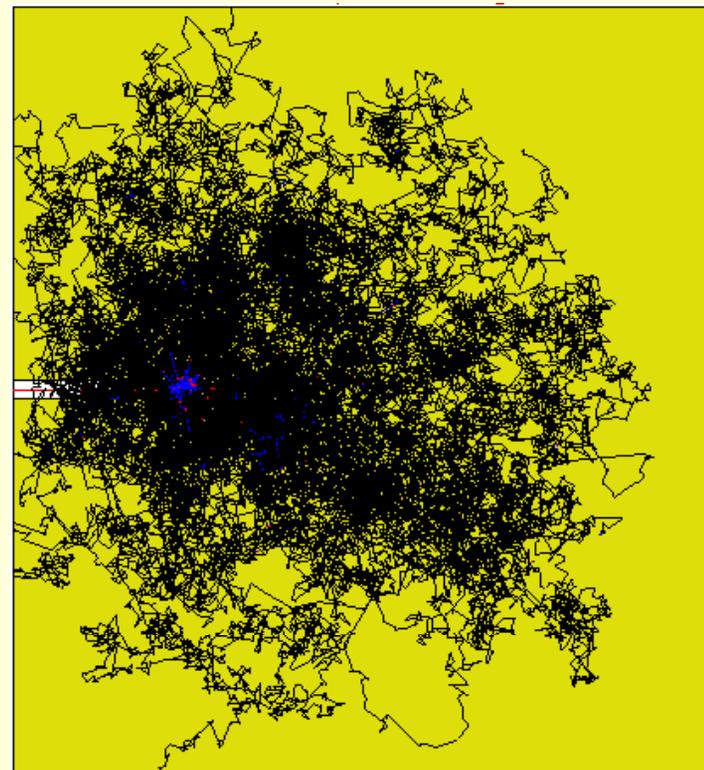
Eine neuartige Simulationsrechnung (EA-MC) wurde für den EA entwickelt:

- Das Programm FLUKA für den Spallationsprozess und Transport der hochenergetischen Neutronen ($E_n \leq 20$ MeV).
- Einbau von Neutronentransport und zeitliche Entwicklung der Atomkerne sowie Benutzung von detaillierten und aktualisierten nuklearen Daten.
- Beschreibung von komplizierter Geometrie und Materialzusammensetzung.
- Benutzung von speziellen Software Techniken zur Reduzierung der Rechenzeit und zur Ansammlung genügender Statistik.

Im TARC Experiment wurde diese Rechnung experimentell verifiziert. Weitere Anwendungen des ARC Prinzips sind z. B. Isotopenherstellung für die Medizin, Neutronenstrahl n_TOF etc.

TARC Experiment

Simulation of neutrons produced by only one proton of 3.5 GeV/c
(147 neutrons produced, 55035 diffusions)



With protons of 1 GeV and a beam current of 10 mA the multiplication factor is 2×10^{16} per second!

Der aktuelle Stand der EA-ADS Forschung

- 1997 beschlossen die Wissenschaftsminister von Frankreich, Italien und Spanien eine Beratergruppe zu bilden, die den Auftrag hatte ein gemeinsames europäisches F&D Programm für **Beschleuniger-betriebene unterkritische Systeme (ADS)** zu definieren.
- Im **„4th Framework Programme“ (1994-1998)** der Europäischen Union wurden die einem ADS zugrunde liegende Physik durch Rechnungen und Experimente verifiziert, z. B. mit FEAT und TARC im CERN.
- Im **„5th Framework Programme“ (1999-2004)** der Europäischen Union wurden die F&D Bemühungen finanziell unterstützt (17 Mrd für „Partitioning and Transmutation“), z. B. der Bau des Neutronenstrahls n_TOF im CERN für die Präzisionsmessung von bekannten und auch bis jetzt unbekanntem Wirkungsquerschnitten.
- 2003 erging der Ruf der Europäischen Union zum **„6th Framework Programme“**, wobei wir uns hier nur auf die Transmutation des nuklearen Abfalls mit Hilfe eines ADS Systems beschränken. Andere Gebiete sind z. B. die Fusion und die nukleare Sicherheit.

6. Rahmenprogramm (1)

Nuclear Waste

Proposal for an Integrated Project on European Transmutation: IP EUROTRANS



Call of the EC for WP04 of EURATOM 6th Framework Programme

90 M€

- NUWASTE-2004-3.2.2.1-1: “Transmutation of high-level nuclear waste in an ADS”
- Objectives: Evaluation of the industrial practicability of transmutation of high-level nuclear waste in an ADS and development of the basic knowledge and technologies needed.
- Scope:
 - System analysis for an accelerator driven system (ADS) including more advanced integrated design, cost evaluation of the whole system and safety and licensing issues.
 - Development of the basic knowledge and technologies required for:
 - Improving reliability of high energy accelerators for ADS applications,
 - Coupling of ADS components (accelerator, spallation target & sub-critical core),
 - Material and coolant technologies,
 - Advanced fuels and targets,
 - Basic nuclear data.

[Die folgenden Transparente sind aus einem Vortrag von J. Knebel (FZK) beim IP EUROTRANS Meeting, 6 Nov. 2003]

6. Rahmenprogramm (2)

NUWASTE hat 3 Unterprogramme: - EUROTRANS (Transmutation) ⇒ 30 M€
- EUROPART („Partitioning“) ⇒ 15 M€
- Nuclear Waste Disposal ⇒ 45 M€

- **The major objectives of IP EUROTRANS are:**
 - To produce a design concept of a **European Transmutation Demonstrator (ETD)**,
 - To experimentally demonstrate the stable operation and dynamic behaviour of an **ADS** at power,
 - To develop and demonstrate the necessary associated technologies,
 - To prove its overall technical feasibility, and
 - To perform an economic assessment.
- **At the end of FP6 one reference design for a European Transmutation Demonstrator (ETD) will be produced. A backup design will also be defined.**
- **The outcome of these activities will allow to decide on a detailed reference design within EURATOM 7th Framework Programme.**

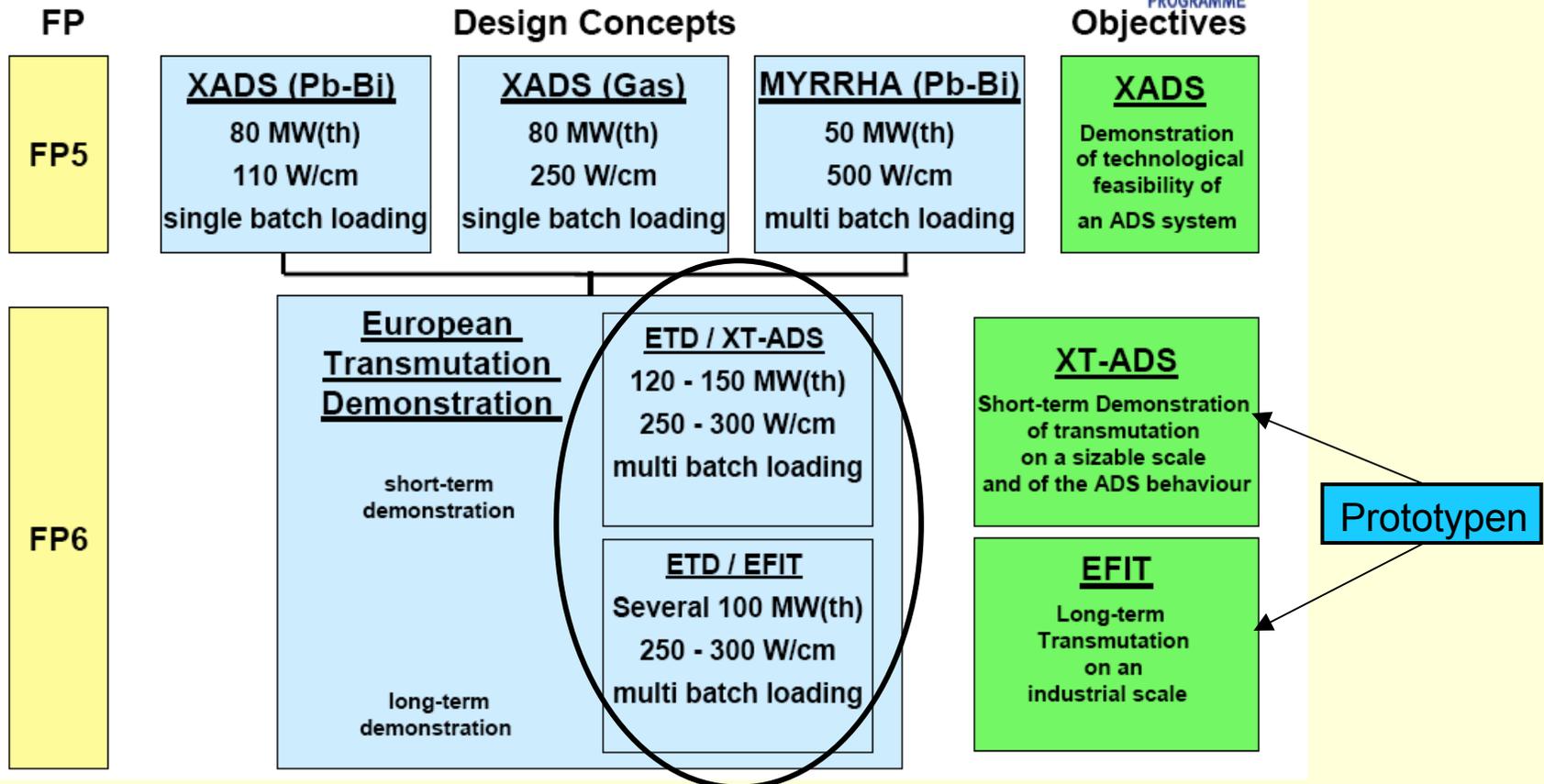
6. Rahmenprogramm (3)

EUROTRANS

Proposal for an Integrated Project on European Transmutation: IP EUROTRANS



ETD Development Scheme

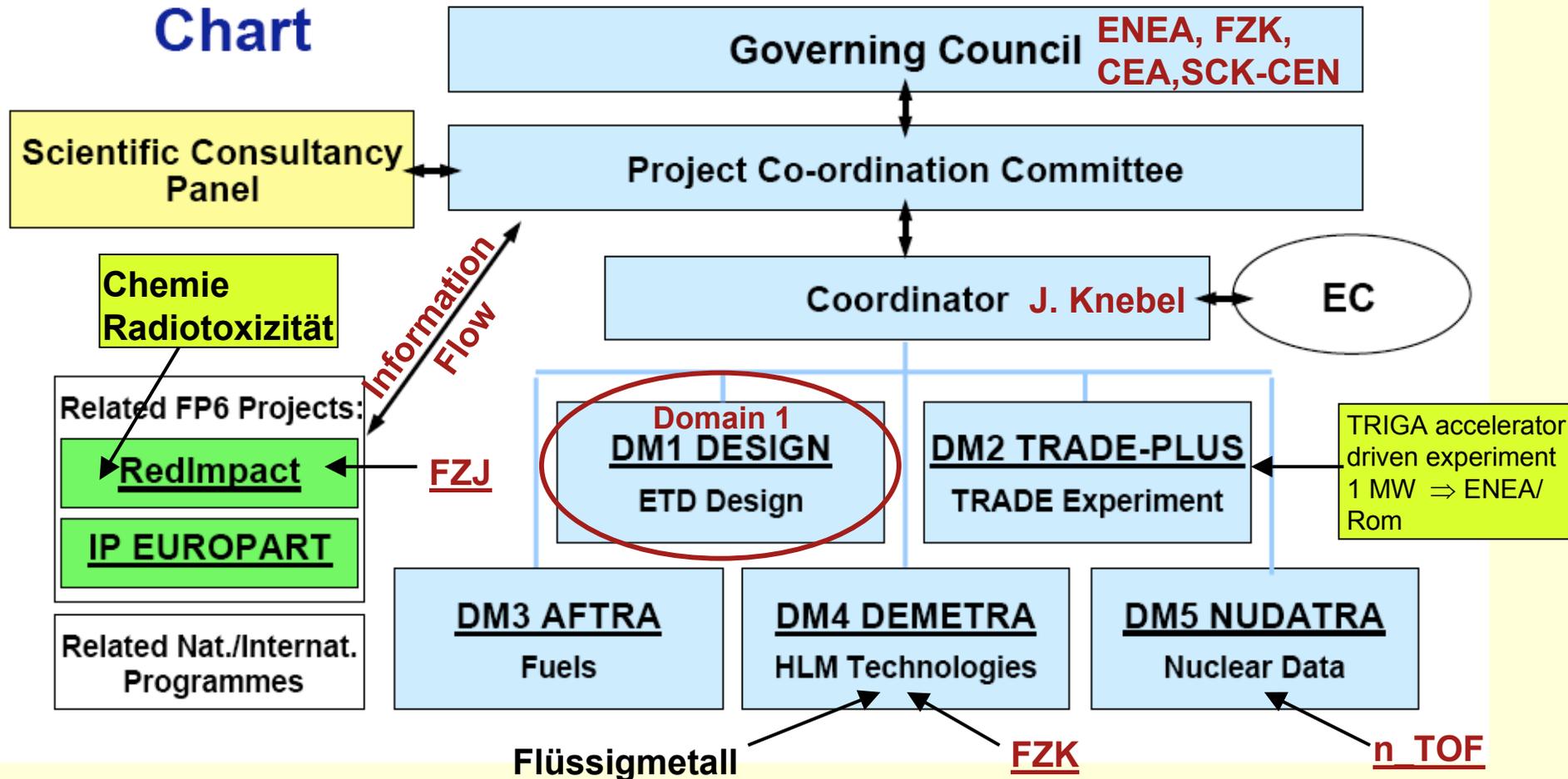


6. Rahmenprogramm (4)

Proposal for an Integrated Project on European Transmutation: IP EUROTRANS



Organisation Chart



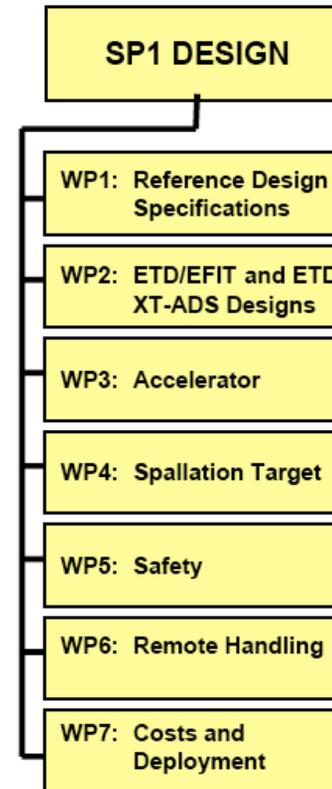
6. Rahmenprogramm (5)

Proposal for an Integrated Project on European Transmutation: IP EUROTRANS



Work Package Structure of Domain 1: DESIGN

- **DM1 DESIGN Coordinator:**
Hamid Ait Abderrahim, SCK-CEN
- **WP1 : G. Rimpault, CEA**
 - 1a) G. Gherardi, ENEA,
 - 1b) H. Ait Abderrahim, SCK-CEN
- WP2a : ETD/EFIT L. Cinotti, Ansaldo**
- WP2b : ETD/XT-ADS B. Carlucci / B. Giraud, Framatome ANP**
- WP3 : A. Mueller, CNRS**
- WP4 : Th. Kirchner, SUBATECH**
- WP5 : W. Gudowski, R. Sehgal, KTH**
- WP6 : A. Rolfe, OTL**
- WP7 : J. Pirson, Tractebel**



Proposal wurde vorschriftsmäßig am 14. April 2004 eingereicht. Die EU Kommission gab eine positive Stellungnahme ab, jedoch wurde das vorgeschlagene Budget von 30 M€ für EUROTRANS auf 25 M€ gekürzt.

Zusammenfassung

- Grundlagenforschung ist eine treibende Kraft für Neuerungen und kann Lösungen für eines der schwierigsten Probleme der heutigen Gesellschaft anbieten.
- Insbesondere kann die Kernphysik einen wichtigen Beitrag zur Lösung des Energieproblems liefern.
- Es ist deshalb ein Fehler, die Kernphysik von vorne herein von F&E Programmen auszuschließen.
- Der Energieverstärker, basierend auf physikalischen Prinzipien und bestätigt durch Experimente am CERN, ist das Resultat eines Optimisierungsprozesses der durch die Anwendung eines neuen Simulationsprogramms ermöglicht wurde.
- Er sollte in der Zukunft als solcher zuerst in den Entwicklungsländern eingesetzt werden um den nuklearen Abfall gering zu halten. Als Transmuter sollte er in den Industrieländern Anwendung finden.

Schlussfolgerung

- Wir stehen vor einer neuen Energiekrise. Niemand weiß, wie der weltweit wachsende Energiebedarf gedeckt werden kann.
- Rekordpreise für Öl und die Unsicherheit in der Versorgung bringen das verdrängte Energieproblem ins öffentliche Bewusstsein zurück.
- Erneuerbare Energien können höchstens 50% des Energiebedarfs im Jahre 2050 decken (?)
- Trotz unabsehbarer Risiken setzen viele Staaten auf neue Kernkraftwerke.
- Kernspaltung mag gefährlich sein, einen Vorteil hat sie: Bei ihr wird kein CO₂ freigesetzt.
- „Atomenergie ist die einzige grüne Lösung“ (J. Lovelock) ⇒ kein CO₂.
- Neue Wundereaktoren sind bislang nur kühne Visionen, Marktreife dürfte ihre Technik erst 2030 erlangen.
- Zurück bleibt immer noch der strahlende Müll, die Fertigstellung eines Endlagers dürfte noch 45 Jahre dauern. Und allmählich wird es eng in den Zwischenlagern. Außerdem ist ein Missbrauch von waffenfähigem Plutonium zu einem späteren Zeitpunkt nie auszuschließen.

Aussichten für ADS

- Carlo Rubbia's Idee der Transmutation nimmt konkrete Formen an.
- Es ist sehr erfreulich, daß die Europäische Kommission jetzt intensiv das Forschungsprogramm für Beschleuniger-betriebene Systeme massiv unterstützt.
- Auch in Deutschland hat sich im Jahre 2001 ein Arbeitskreis „ADS Deutschland“ gebildet auf Anregung der Firma Nukleartechnik. Er soll ein kompetenter Ansprechpartner zum Thema Transmutation in Deutschland sein. Vertreten sind die Institute welche zur Zeit sich mit der Transmutation in Deutschland beschäftigen.
- Erfreulich ist, daß einige deutsche Institute auch im 6. Rahmenprogramm vertreten sind.
- Eine stärkere Beteiligung an ADS in Deutschland und auch international ist absolut erforderlich. Hier muß die Regierung entgegenkommen, sonst geht der Anschluß verloren.
- Wir haben die Chance mit viel Einsatz ADS Systeme für die Zukunft zu bauen und damit

ein Medikament gegen Pest und Cholera

zu finden.