Dual Fluid Reaktor

Institut für Festkörper-Kernphysik

Berlin: Armin Huke, Götz Ruprecht, Stephan Gottlieb, Daniel Weißbach
Stettin: Konrad Czerski
Vancouver: Ahmed Hussein, Dario Gigliotti

AG Nuklearia, Berlin, 27. Juni 2013, 21:00

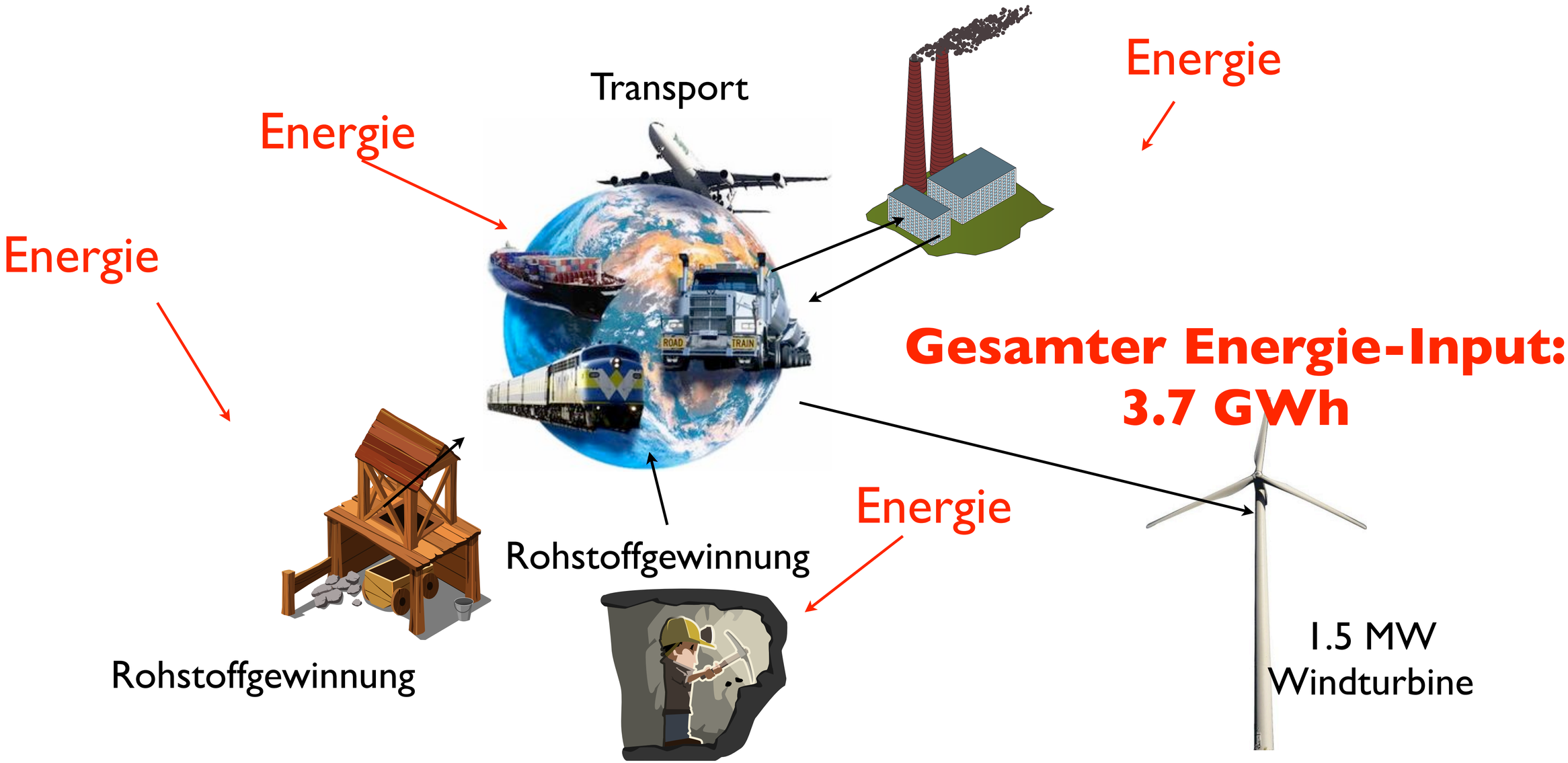
Die gesamte Energiebilanz: **E**nergy **R**eturn **o**n **I**nvested, **EROI** Deutsch: **Erntefaktor**

- Life Cycle Analysis (**LCA**) notwendig
- Gesamte „produzierte" Energie während der Lebenszeit einer Anlage
- Geteilt durch die aufgewandte Energie für (Ab)Bau und Betrieb der Anlage, einschließlich indirekter Prozesse wie Rohstoffgewinnung und Brennstoffversorgung („Von der Wiege bis zur Bahre")

$$\text{Erntefaktor} = \frac{\text{Gesamter Energie-Output}}{\text{Gesamter Energie-Input}}$$

!Gemeint ist E**x**ergie

Der Energie-**Input**: Windkraft



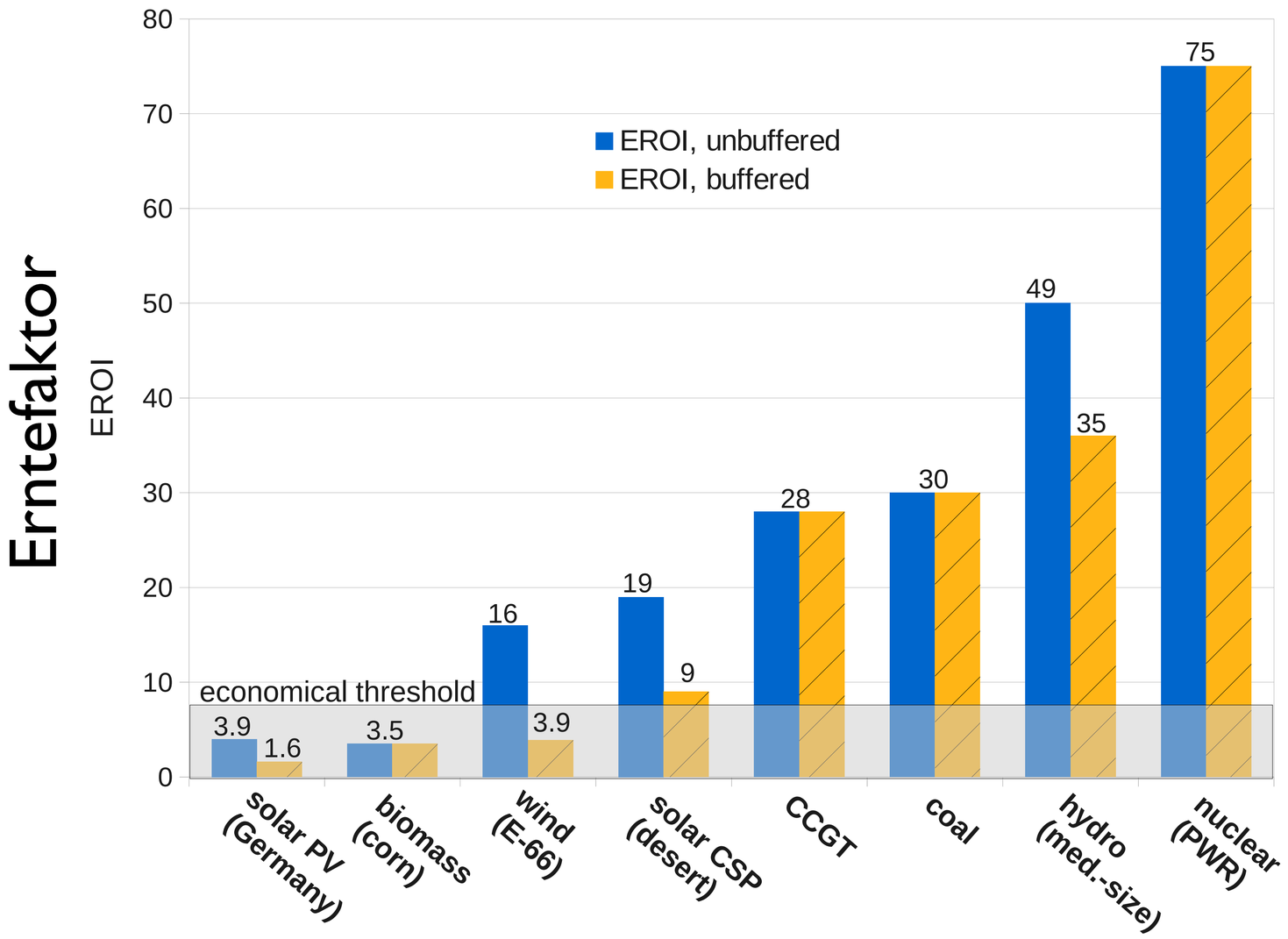
Der Energie-**Output**: Windkraft

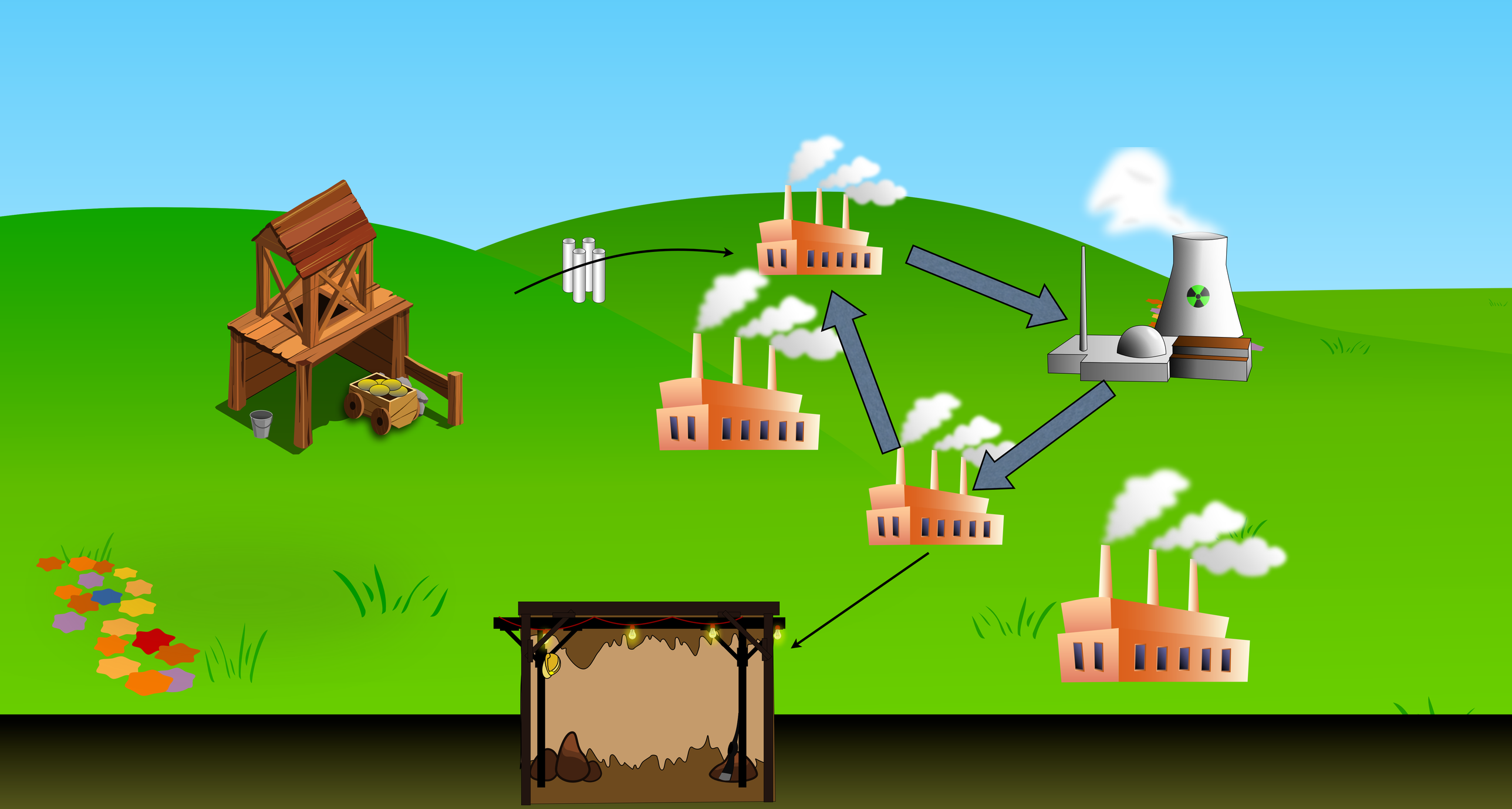
Nennleistung: 1,5 MW
Lebensdauer: 20 Jahre
Volllaststunden 2,000 pro Jahr
Gesamte produzierte Energie: 60 GWh

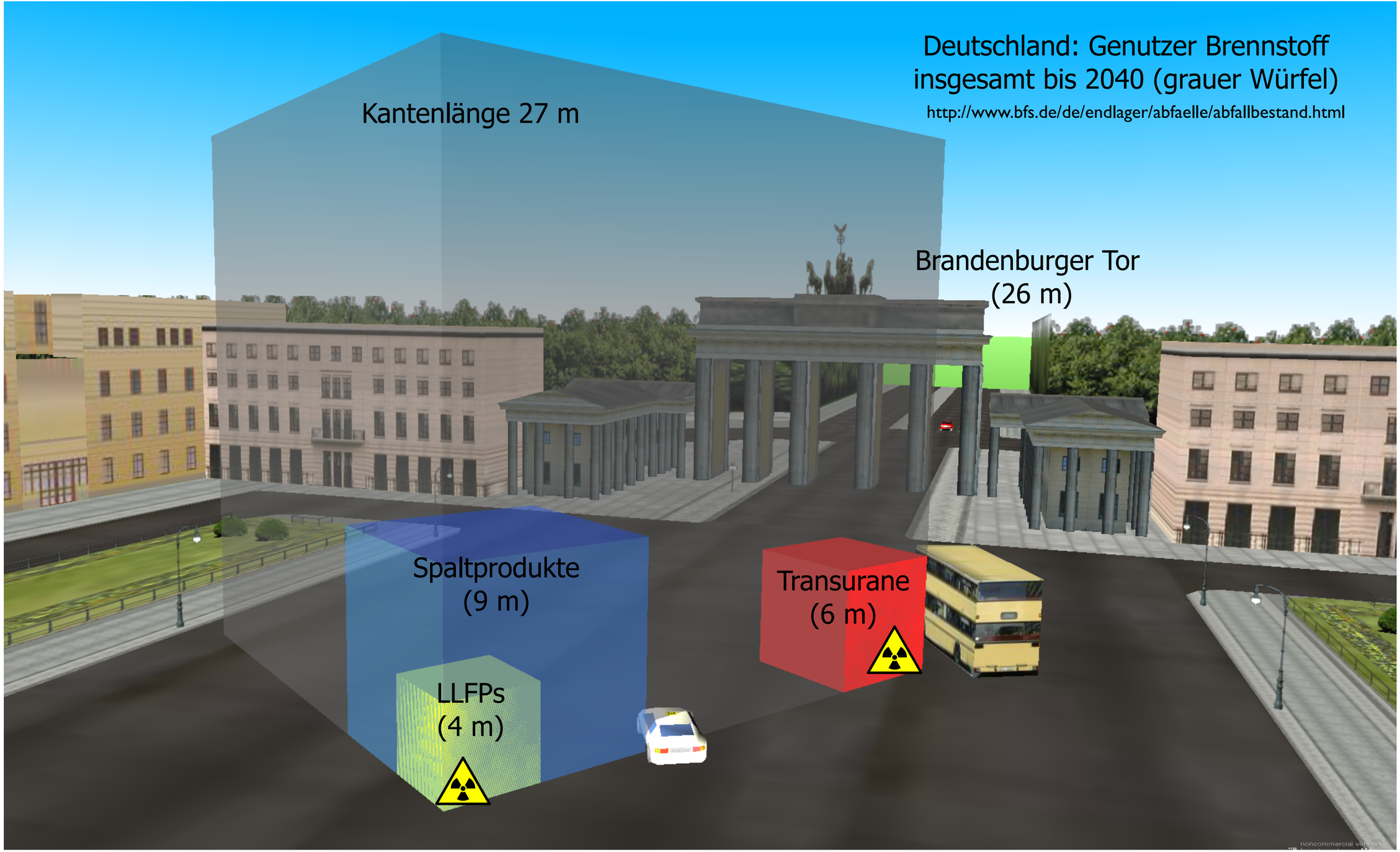
$$\textbf{Erntefaktor} = \frac{60\ \text{GWh}}{3{,}7\ \text{GWh}} = \mathbf{16}$$

Erntefaktoren mit und ohne Speicherung

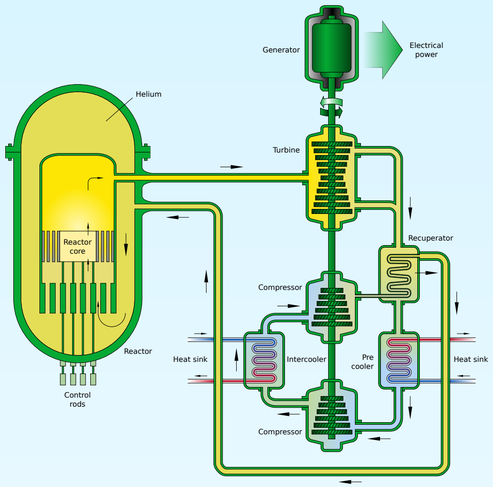
http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.01.029



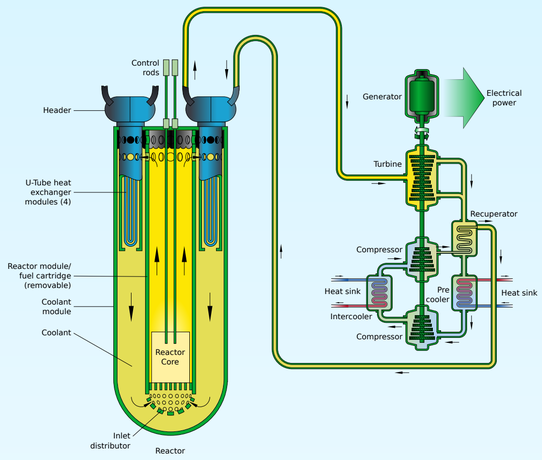



Deutschland: Genutzer Brennstoff insgesamt bis 2040 (grauer Würfel)
http://www.bfs.de/de/endlager/abfaelle/abfallbestand.html
Kantenlänge 27 m
Brandenburger Tor (26 m)
Spaltprodukte (9 m)
Transurane (6 m)
LLFPs (4 m)

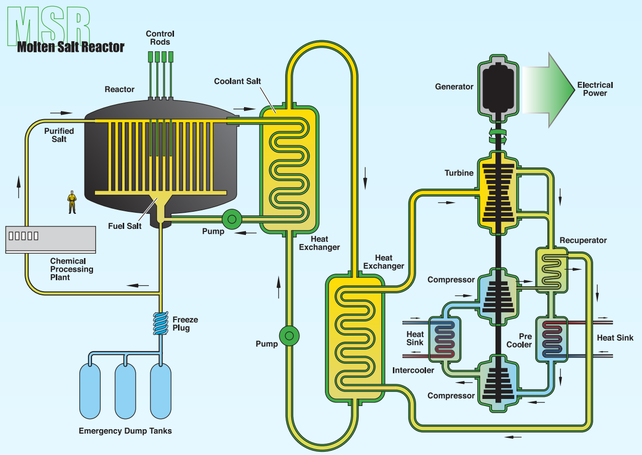
Gas-cooled fast reactor



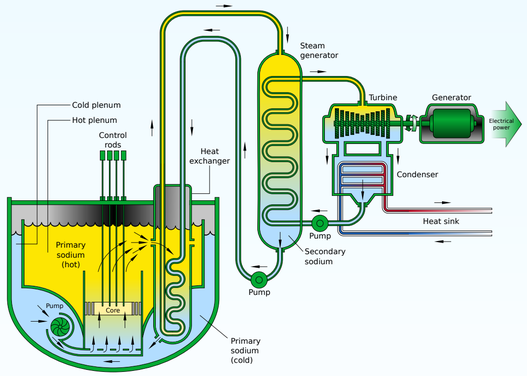
Lead-cooled fast reactor



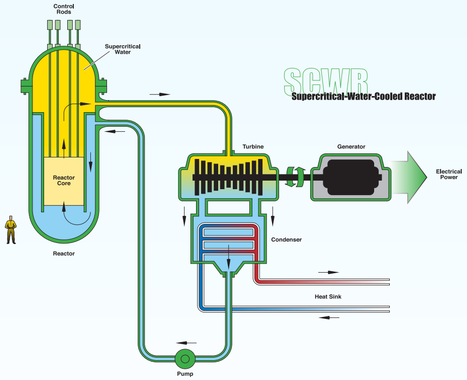
Molten-salt fast reactor



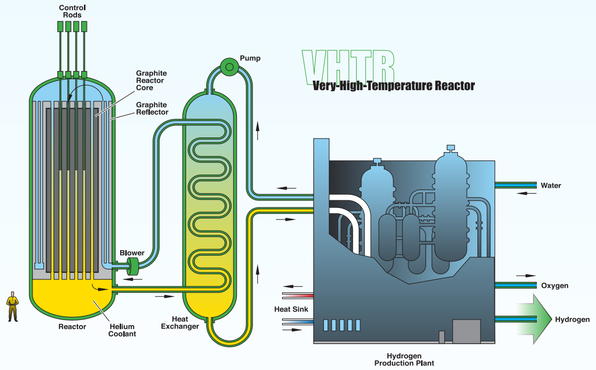
Sodium-cooled fast reactor



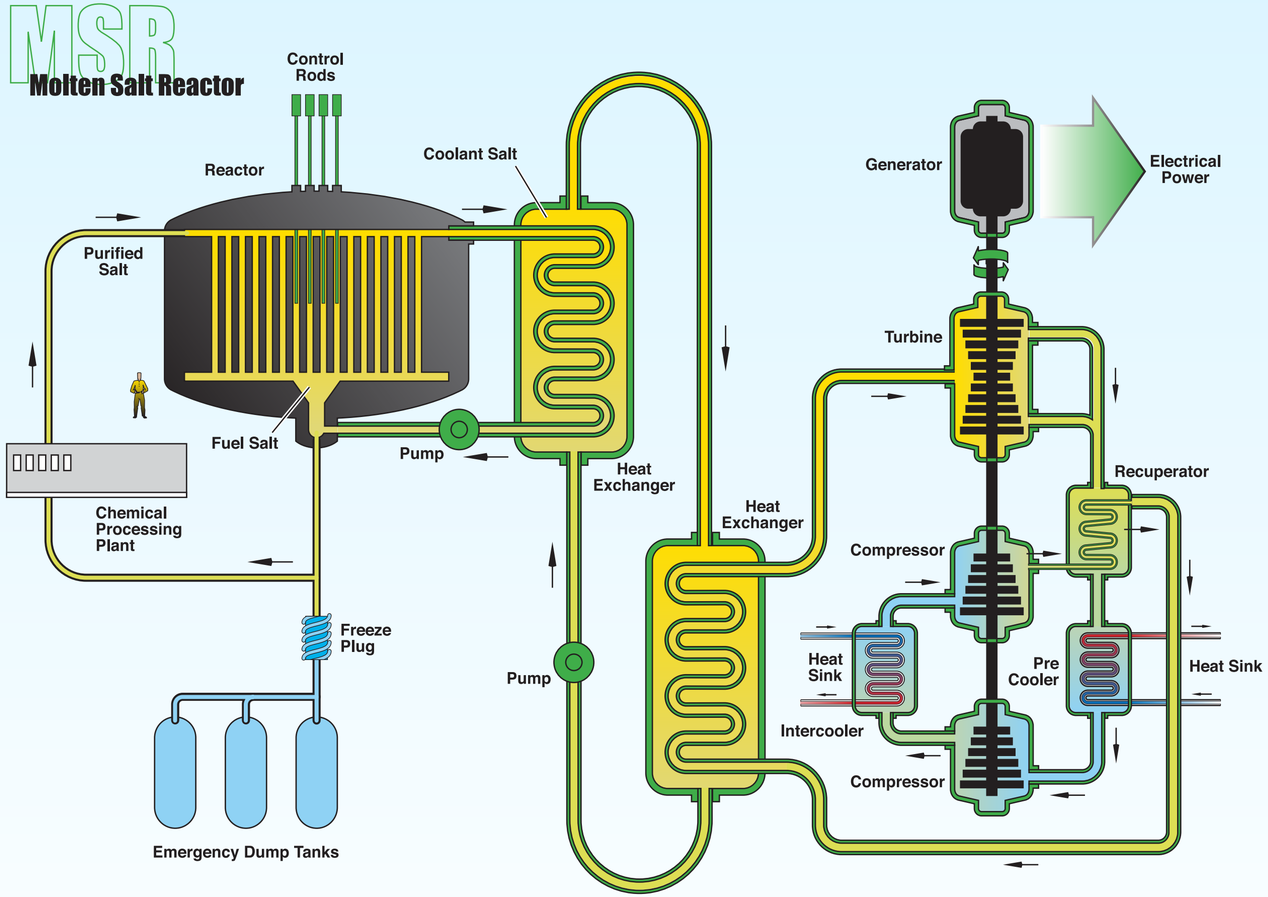
Supercritical water reactor



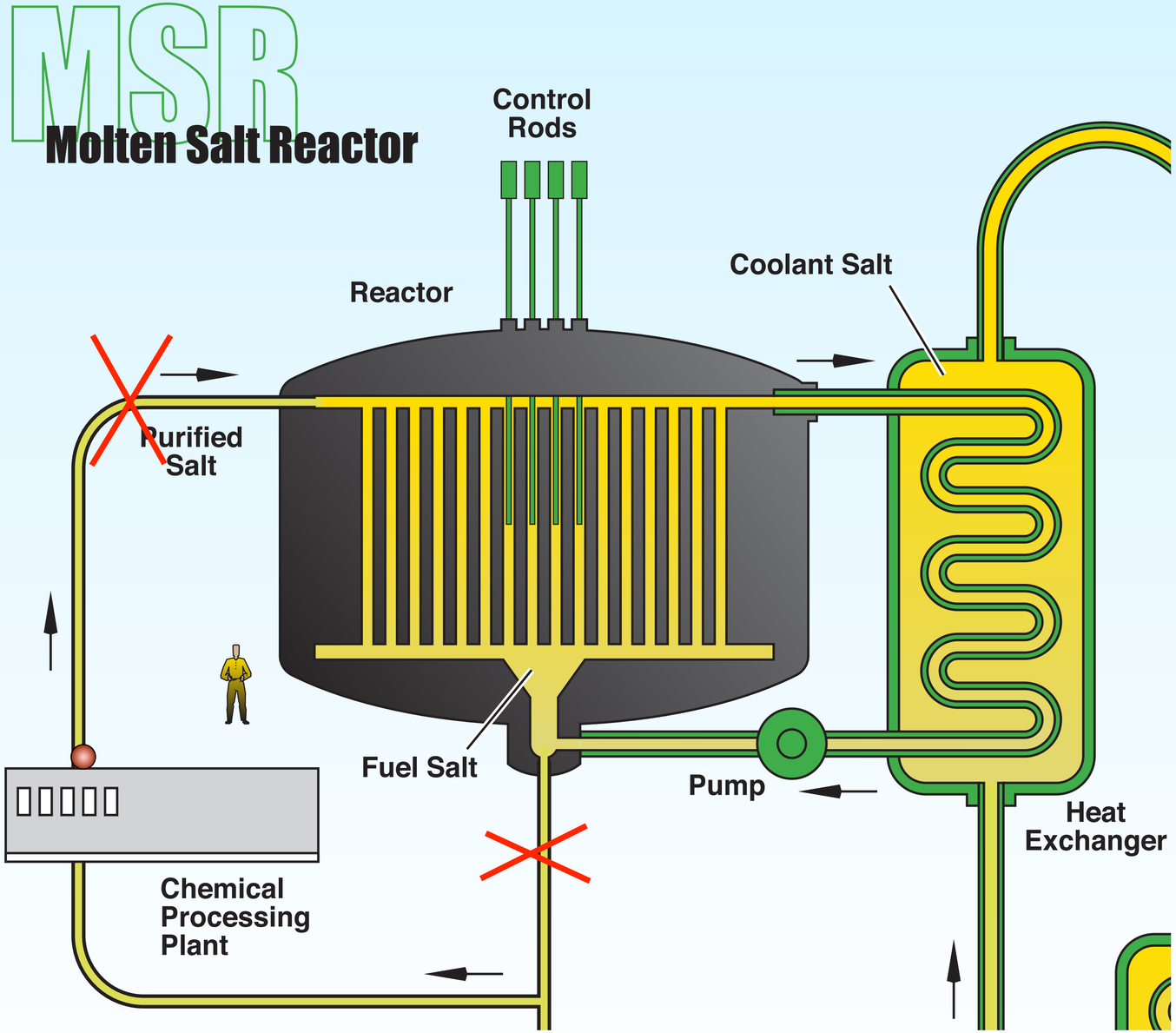
Very high temperature reactor



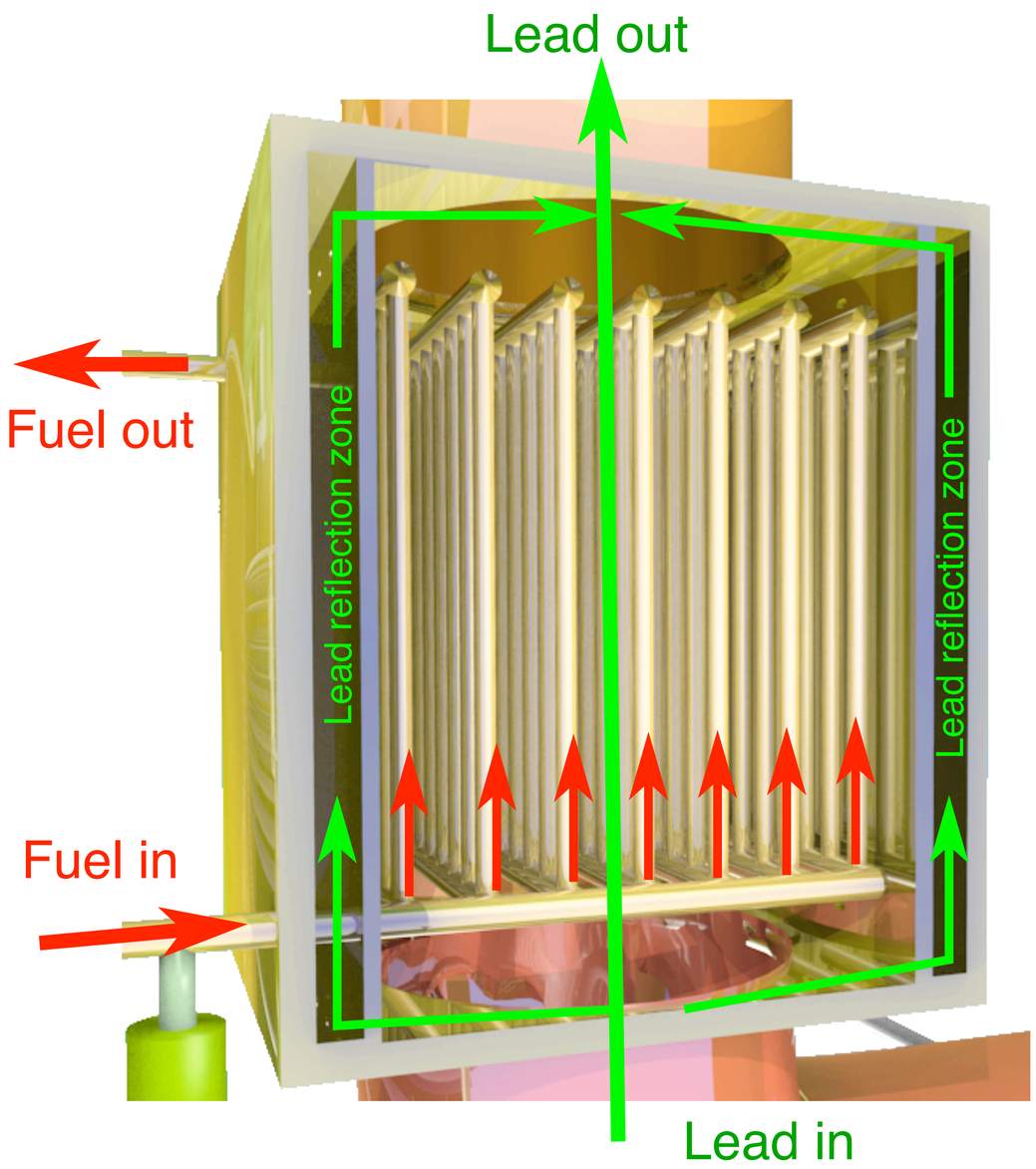
Molten-salt fast reactor



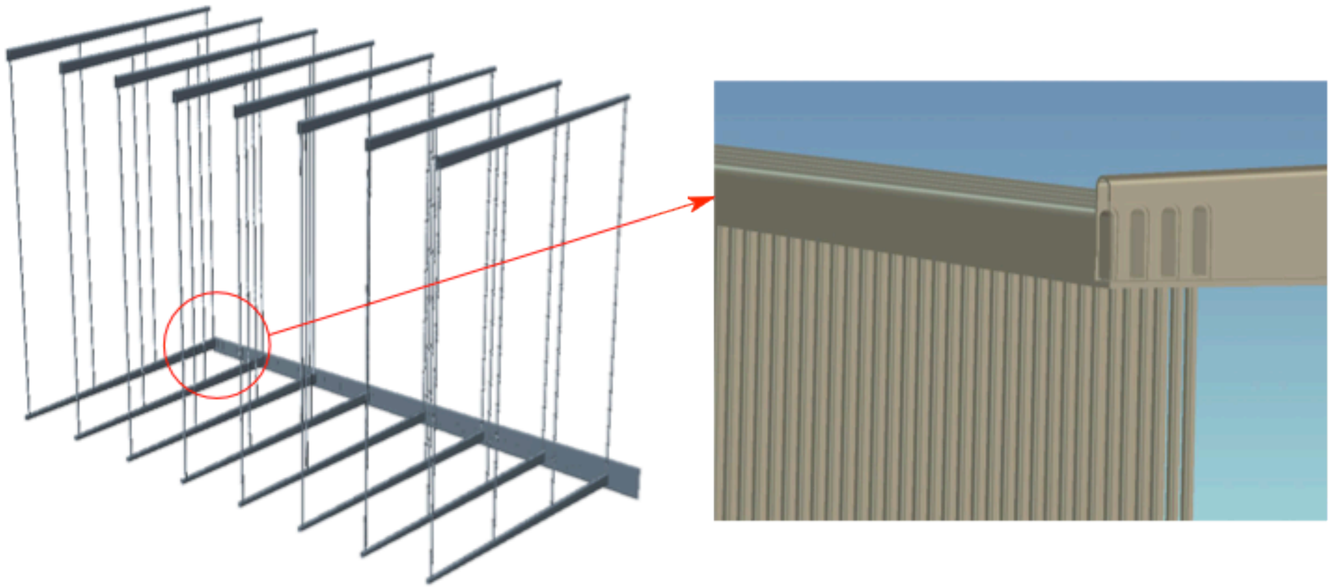
Molten-salt fast reactor



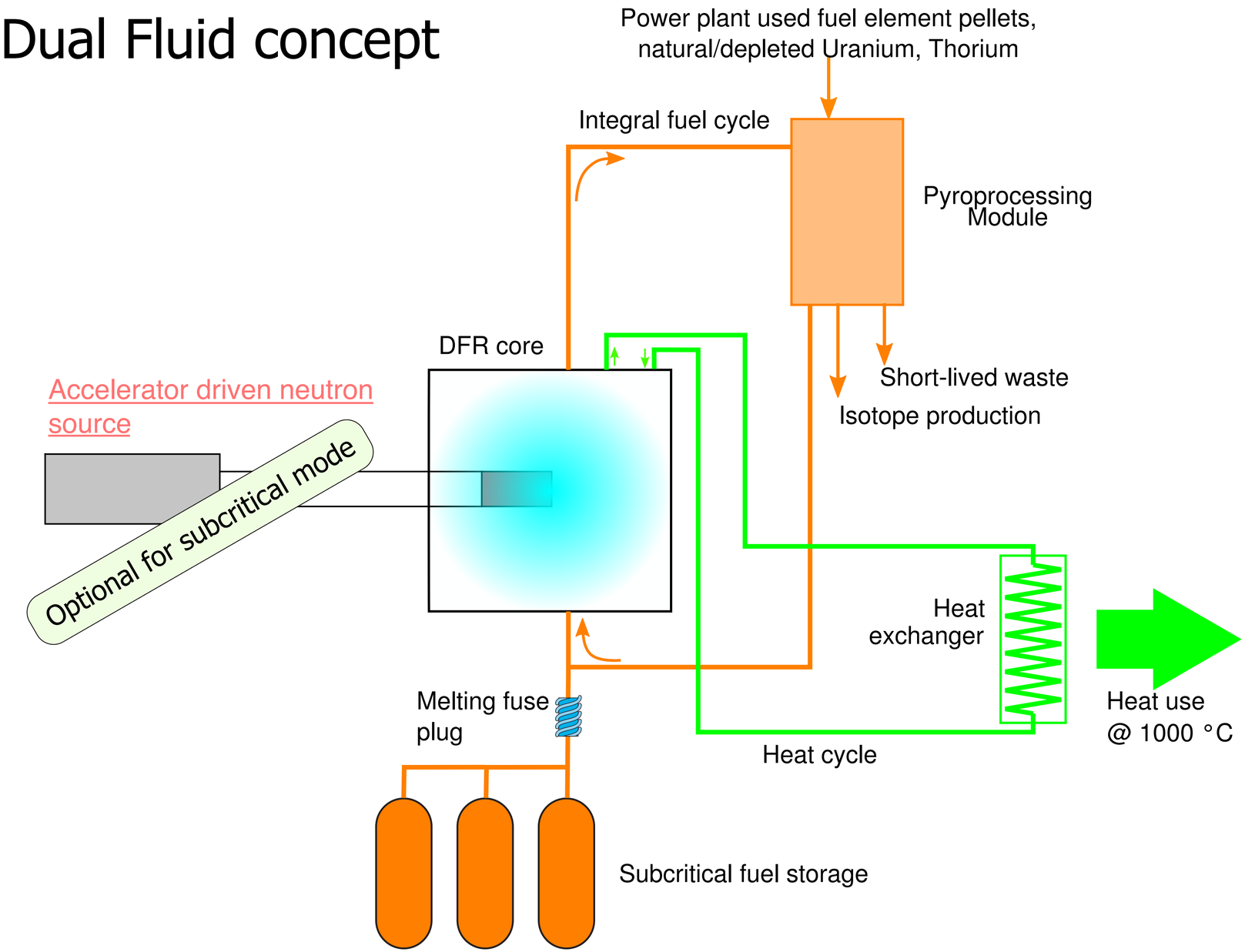
Das Dual-Fluid-Prinzip - der Kern



Mögliche Rohrführung



The Dual Fluid concept



Reactors: DFR and water-moderated

DFR

- Consumes “waste”
- Consumes natural Uranium and natural Thorium
- Produces fuel for water-moderated reactors, if desired
- Produces CO_2-neutral chemical fuels
- Has a closed internal fuel cycle

vs.

Water-moderated Reactor

- Produces “waste”
- Consumes U-235
- Can not produce chemical fuels
- Low power density, high costs
- Relies on fuel cycle infrastructure

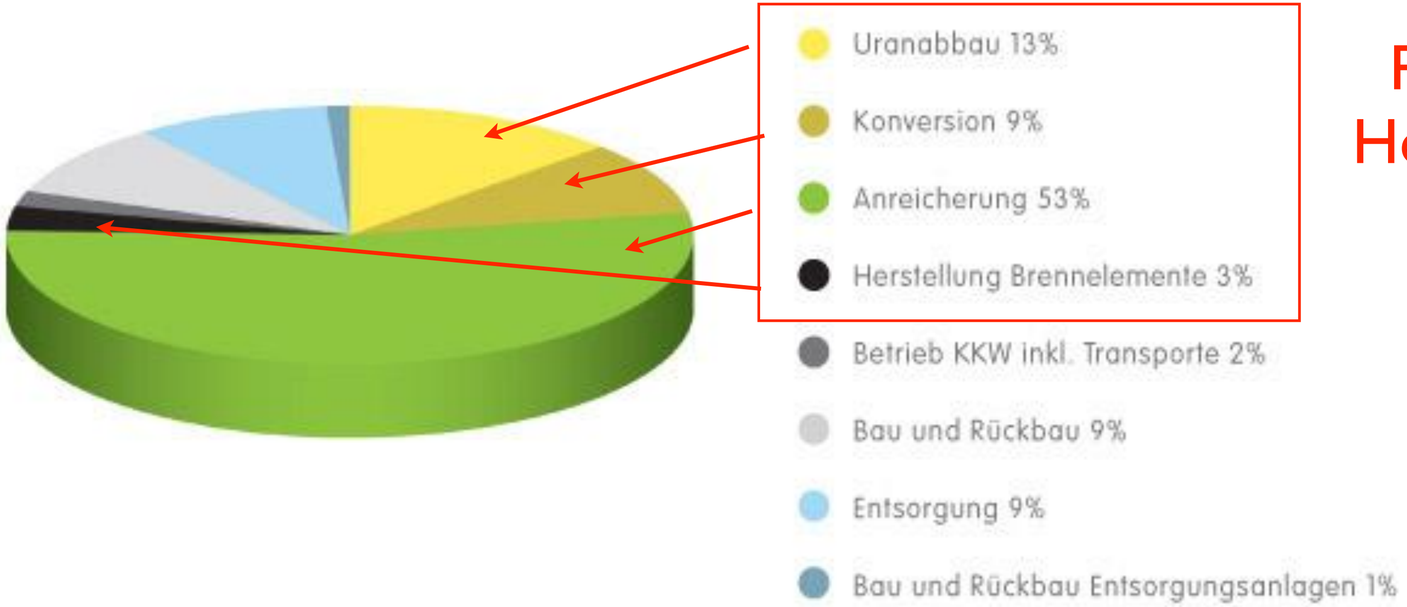
Should not be an “either/or”

DFRs could be deployed on the site of water-moderated reactors, complementing their operation and closing their fuel cycle

Erntefaktoren von Druckwasserreaktoren (z.B. Konvoi)

	100% Diffusion		Diffusion (17%) + Zentrifuge (heute)		100 % Zentrifuge		100 % LASER
Erntefaktor:	29	→	75	→	105	→	115

Beiträge zum Energie-Input in der Herstellungskette (heute)

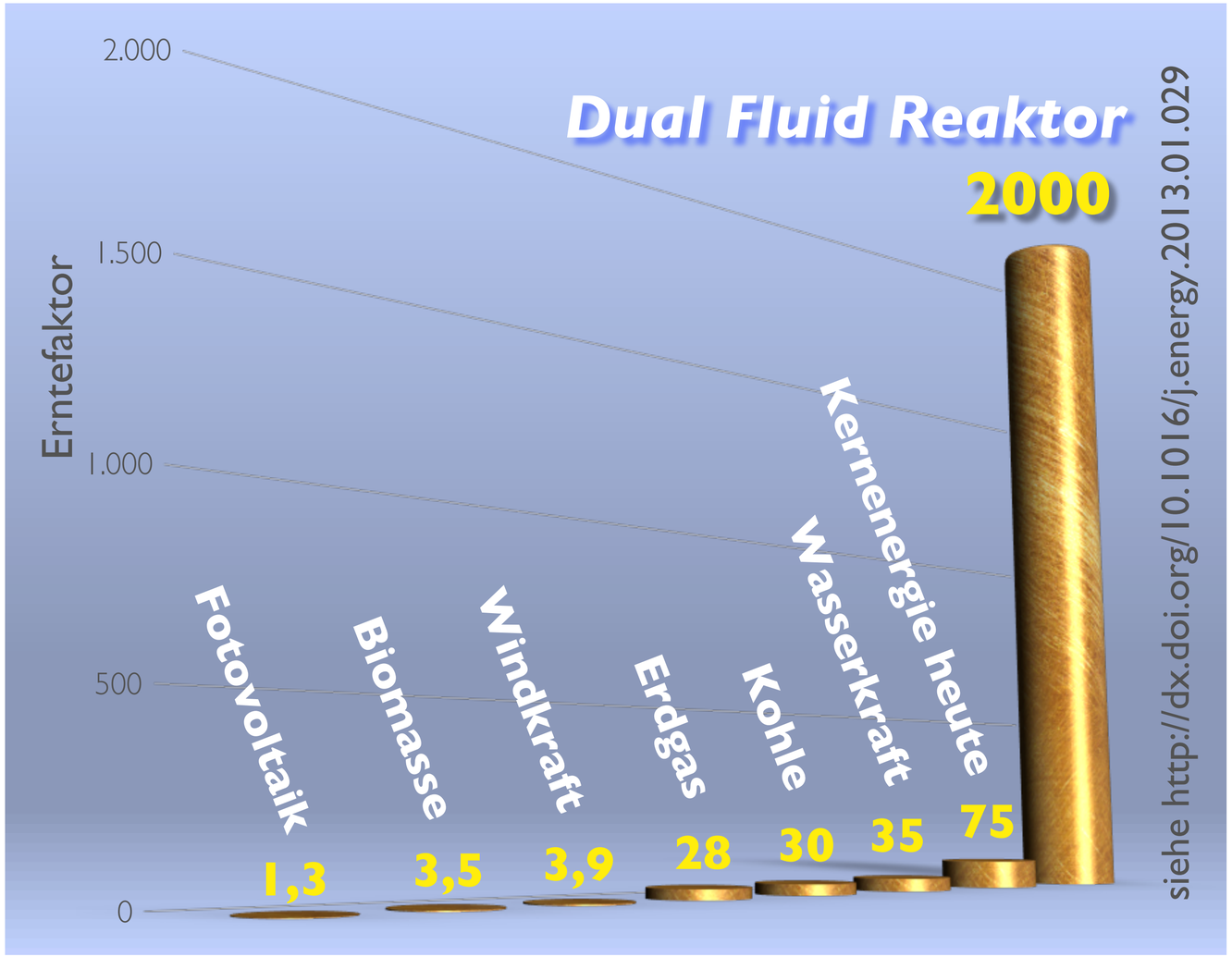


Prozesse zur Herstellung der Brennstäbe

Energie-Input des DFR

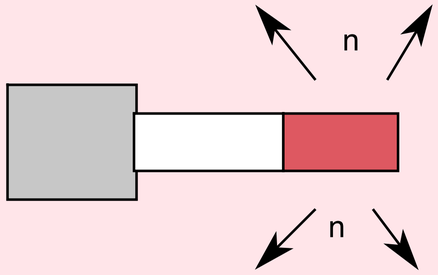
Item	Units (or total amount in 1000 kg)	Energy inventory in TJ/(1000 kg)	Total inventory in TJ
Concrete containment for reactor, fission products and turbine building	21000	0.0014	30
High performace refractory metals and ceramics (PPU and core)	60	0.5	30
High temperature isolation material for PPU and core	100	0.1	10
Initial load, isotopically purified ^{37}Cl + fuel	25+60	2.5 / 0.4	50+25
Refractory metals and ceramics for the heat exchanger	180	0.5	90
Isolation and structural materials, heat exchanger	300	0.1	30
Unfabricated, low-alloyed metal for fission product encapsulation	3000	0.033	100
Structural materials (steel) for non-nuclear part	1000	0.02	20
Lead coolant	1200	0.036	45
Turbines with generators	3	40	120
Mechanical engineering parts			150
Cooling tower (special concrete)	20000	0.003	60
Refueling, 1200 kg/a actinides over 50 years	∼60	0.4	∼25
^{37}Cl loss compensation	2	2.5	5
Maintenance, high-performance refractories + isolation for 1 new core	30+50	0.5 / 0.1	20
Maintenance, 50% of other reactor parts, refractories + isolation	90+175	0.5 / 0.1	62.5
Maintenance, 50% of mechanical engineering and turbines			135
Maintenance electricity, 2 MW over 20 days/a and heating, 50∗0.2 TJ			182.5
Sum			**1190**
Output over 50 years lifetime, ∼1500 MW net, ∼8300 full-load hours			**2,250,000**

Erntefaktor des DFR



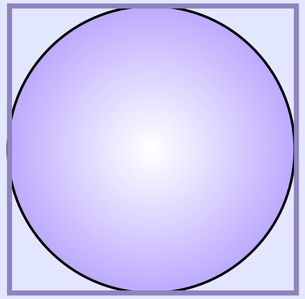
DFR-Entwicklungslinien

Beschleunigerneutronenquelle



- Erzeugt Neutronen aus Fusionsreaktionen
- Regelt Reaktionsverlauf im Konverter
- Eigenständige Anwendungen für nukleare Radiographie
  - Medizinische Diagnose
  - Industrielle Materialprüfung und Prozessvisualisierung
  - Sicherheitstechnik: Gepäckkontrolle, Containerdurchleuchtung
- Weiterentwicklung zu Hochleistungsquellen wie Spallationsquellen, aber kleiner

Konverter



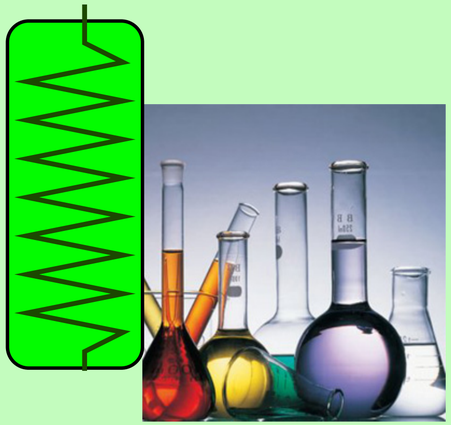
- Kompakte Hochtemperaturbauweise ohne Überdruck, inhärent sicher
- Getrennte, interne, kontinuierliche Kreisläufe für Wärmeenergie und Spaltstoffe
- Transmutation von Nukliden
  - Umwandlung langlebiger in kurzlebige und stabile Spaltprodukte
  - Isotopenproduktion; für medizinische Zwecke, z.B. Mo-99
  - Nutzbarmachung des Resturans und der Transurane unter Energieabgabe
- Mögliche Weiterentwicklung zu eigenständigem Transmutationsreaktor

DFR-Entwicklungslinien

Pyrochemische Verarbeitung

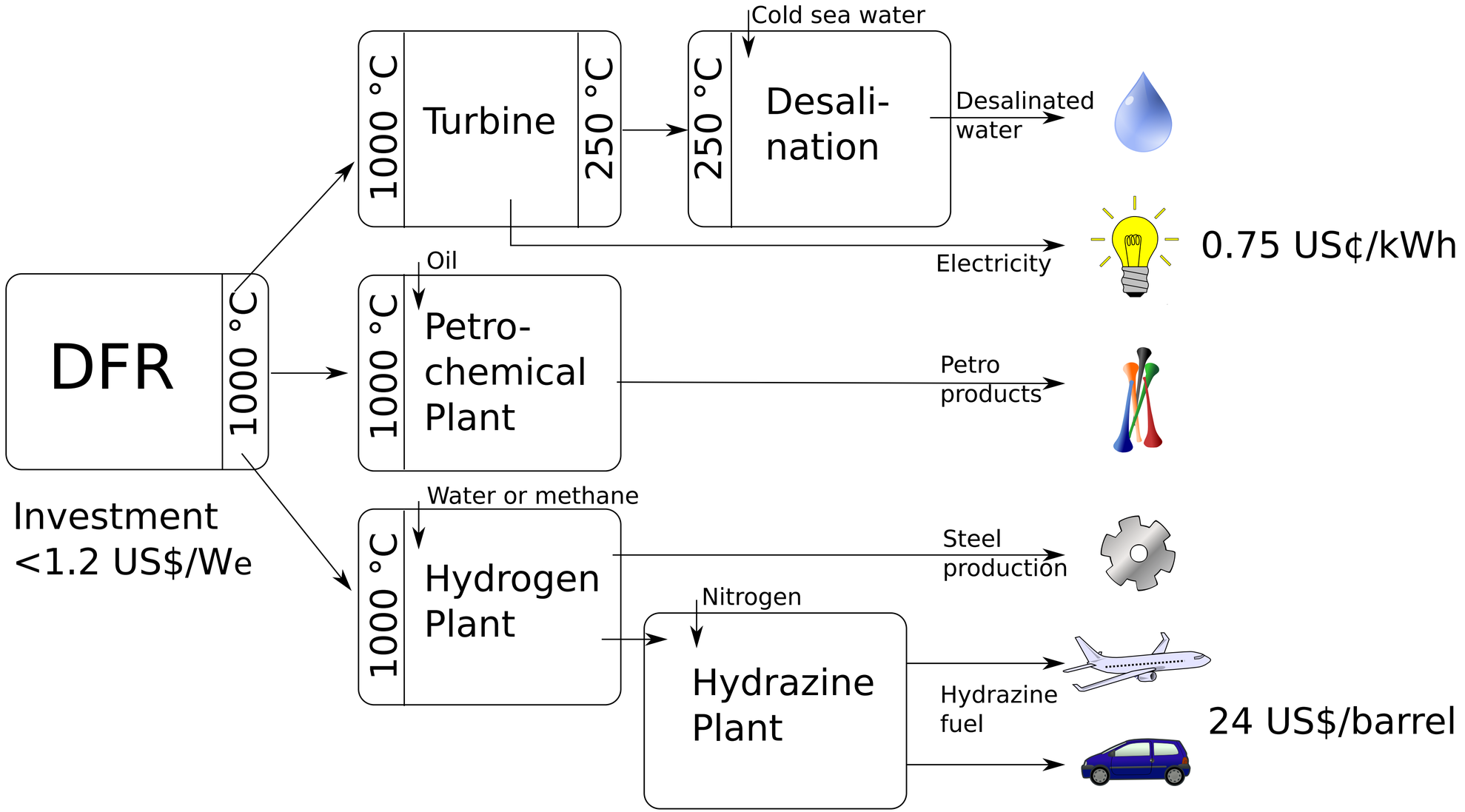
- Hochtemperaturverarbeitung ermöglicht präzise, schnelle, automatische Verarbeitung in kompakter isolierter Zelle
- Interner integraler Brennstoffkreislauf erlaubt kontinuierliche Verarbeitung kleiner Mengen in Kleinstanlage
- Stützt sich auf in der Vergangenheit erprobte Verfahren
- Keine Produktion großvolumiger niedrigaktiver Abfälle wie beim nass-chemischen PUREX-Wiederaufarbeitungsverfahren
- Präzise Nuklidseparation wie zur Extraktion von Mo-99 etc.
- Manipulationssicher kapselbar

Wärmenutzung



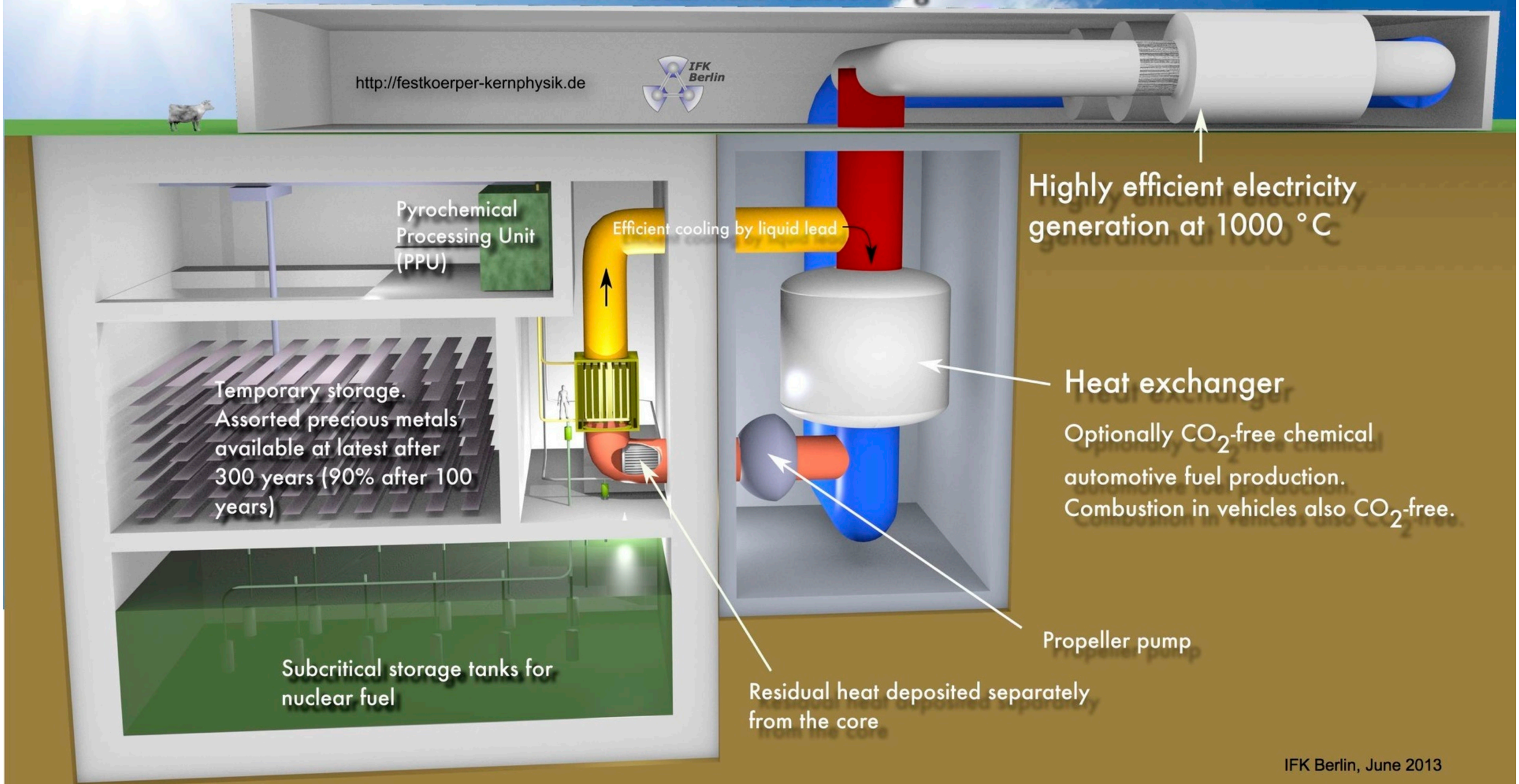
- Hocheffiziente Elektrizitätserzeugung, Magneto-Hydrodynamischer (MHD) Generator möglich
- 1000 °C ermöglicht erprobte Verfahren der Prozesschemie, die bisher unwirtschaftlich waren:
  - Kohleverflüssigung, Benzin aus Kohle: z.B. Fischer-Tropsch-Verfahren
  - Ölsandextraktion
  - Hocheffektive Wasserstoffproduktion durch Wasserzerlegung (z.B. HOT-ELLY Verfahren, KfA Jülich) und weitere Nutzung mit Prozesswärme:
    - Ammoniak-Synthese (Haber-Bosch-Verfahren): Stickstoffchemie, Dünger
    - Hydrazin-Synthese als Flüssigtreibstoffersatz in Fahr- und Flugzeugen, billigere Brennstoffzellen
    - Wasserstoffgaseinspeisung in bestehendes Erdgasnetz
    - Vollständiges stoffliches Kunststoffrecycling: Durch Hydrierung und Cracking werden beliebige Kunstoffgemische in kurzkettige Verbindungen zur erneuten Kunststoffsynthese zurückgeführt.

DFR Applications



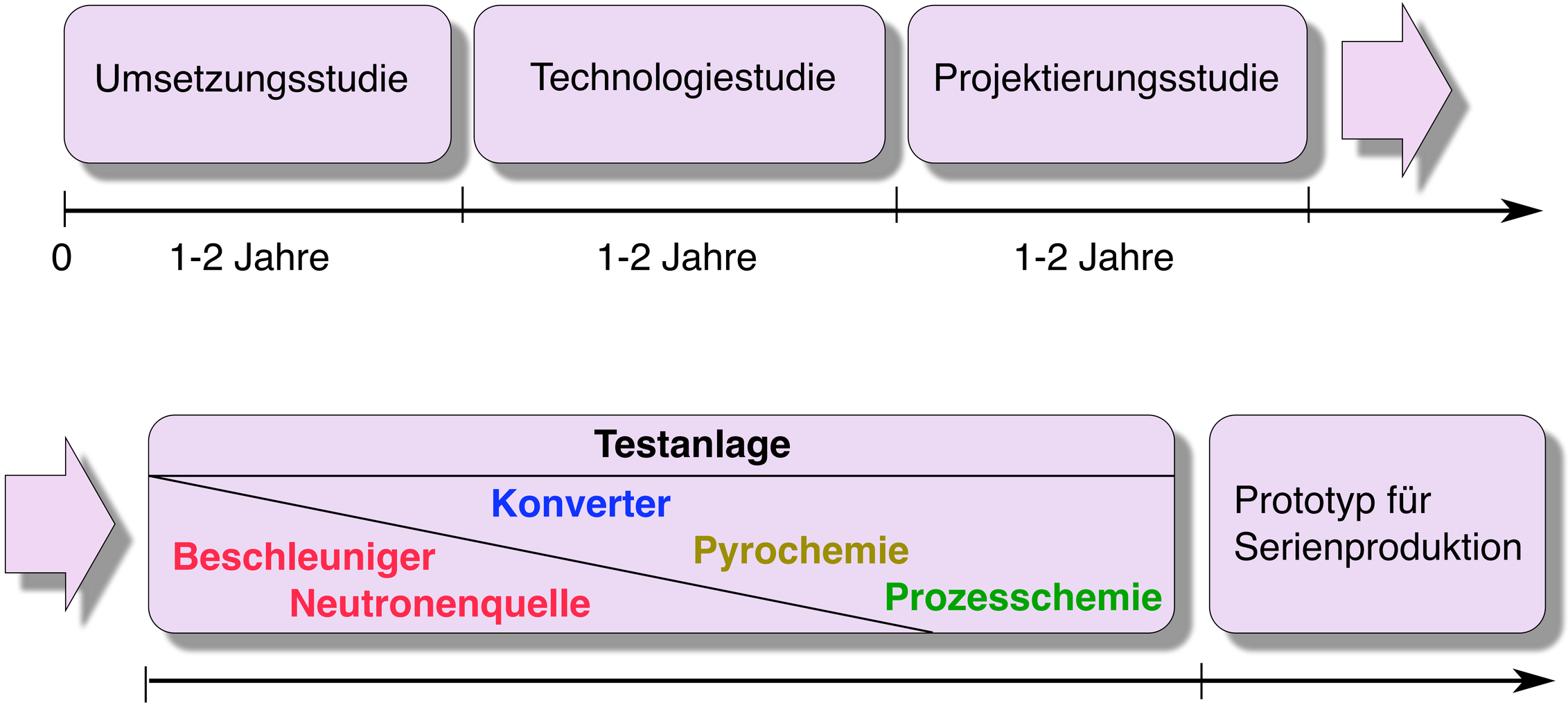
The Dual Fluid Reactor

www.dual-fluid-reactor.org



IFK Berlin, June 2013

Der DFR-Zeitstrahl



DFR Key Figures for a 1,500 MW_e Power Plant

- Investment costs: 1.2 US$ / W* → Comparable to coal power plants

- Returns 2,000 times the energy invested (EROI).
  (PWRs return 100 times the energy)

- Initial electricity production costs 0.75 US¢ / kWh*
  → Decreases to the EROI cost ratio when the entire infrastructure is based on DFRs

- Refined oil equivalent chemical fuels can be produced for as low as 24 US$/barrel* of oil equivalent

- World demand for power and fuel until 2050:
  → 3,500 DFR equivalents for electricity
  → Plus additional 6,500 DFR equivalents for fuel

*) Overnight costs