

Reinventing Nuclear

Das Buch zum Vortrag

TvR Medienverlag

Keine Methode der Stromerzeugung ist hierzulande so umstritten wie die Nutzung der Kernkraft. Die hierbei vorgebrachten Argumente könnten gegensätzlicher kaum sein. Dabei werden neue, innovative Kernkraft-Konzepte oft ausgeblendet. Dieses Buch will diese Lücke schließen und stellt kerntechnische Innovationen aus wirtschaftlich-technischer Sicht vor, besonders im Vergleich mit den Problemen der heutigen veralteten Kerntechnik. Dazu gehört auch ein Blick auf die Effizienz der anderen aktuellen Stromerzeugungstechniken. Außerdem wird die Wirkung radioaktiver Strahlen auf den menschlichen Körper ausführlich behandelt, wobei die Diskrepanz zwischen der Realität und den Tatsachenverdrehungen mancher Medien sichtbar gemacht wird.

Die beiden Autoren beschäftigen sich seit vielen Jahren wissenschaftlich mit der Entwicklung kerntechnischer Anlagen. Ihr Ziel ist, dem großen oft irrationalen Angstpotential der Kerntechnik mit sachlich einwandfreier und umfassender Aufklärung zu begegnen.

Coverbild: KKW Golfech, Frankreich (©akg / euroluftbild.de/Robert Grahn)



Kernkraft

Ruprecht/ Lüdecke

**Götz Ruprecht
Horst Joachim Lüdecke**

**Kernkraft
Der Weg in die Zukunft**



Europäisches Institut für Klima und Energie

kernkraft-mit-zukunft.de

Warum Kernkraft neu erfinden?

Energie definiert die Zivilisation

Mittelalter, Neuzeit



18./19. Jh



21. Jh

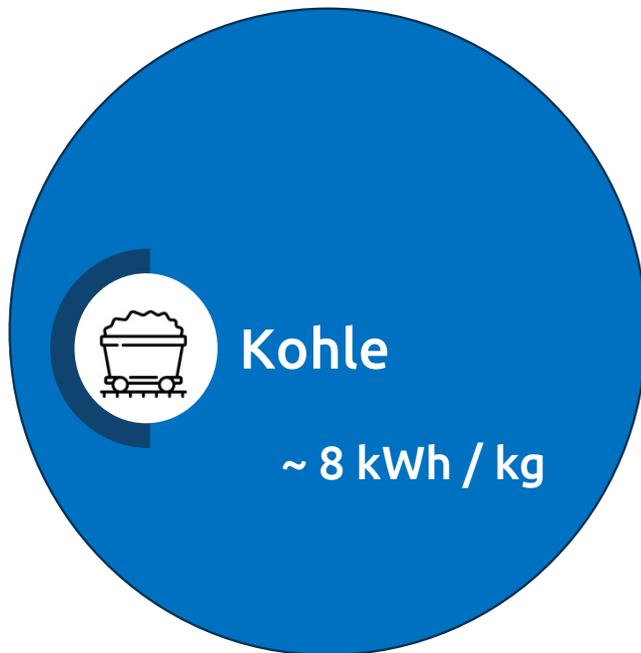


- Entdeckung konzentrierter Brennstoffe: Kohle, Öl
- **Optimierte Nutzung v. Kohle + Öl** durch neue Technologien
- Erhöhung der verfügbaren Energiemenge um Faktor 10
- **Optimierte Nutzung der Kernkraft**



**Moderner Lebensstil
Doppelte Lebenserwartung**

Energiegehalt von Brennstoffen: Kohle und Rohöl



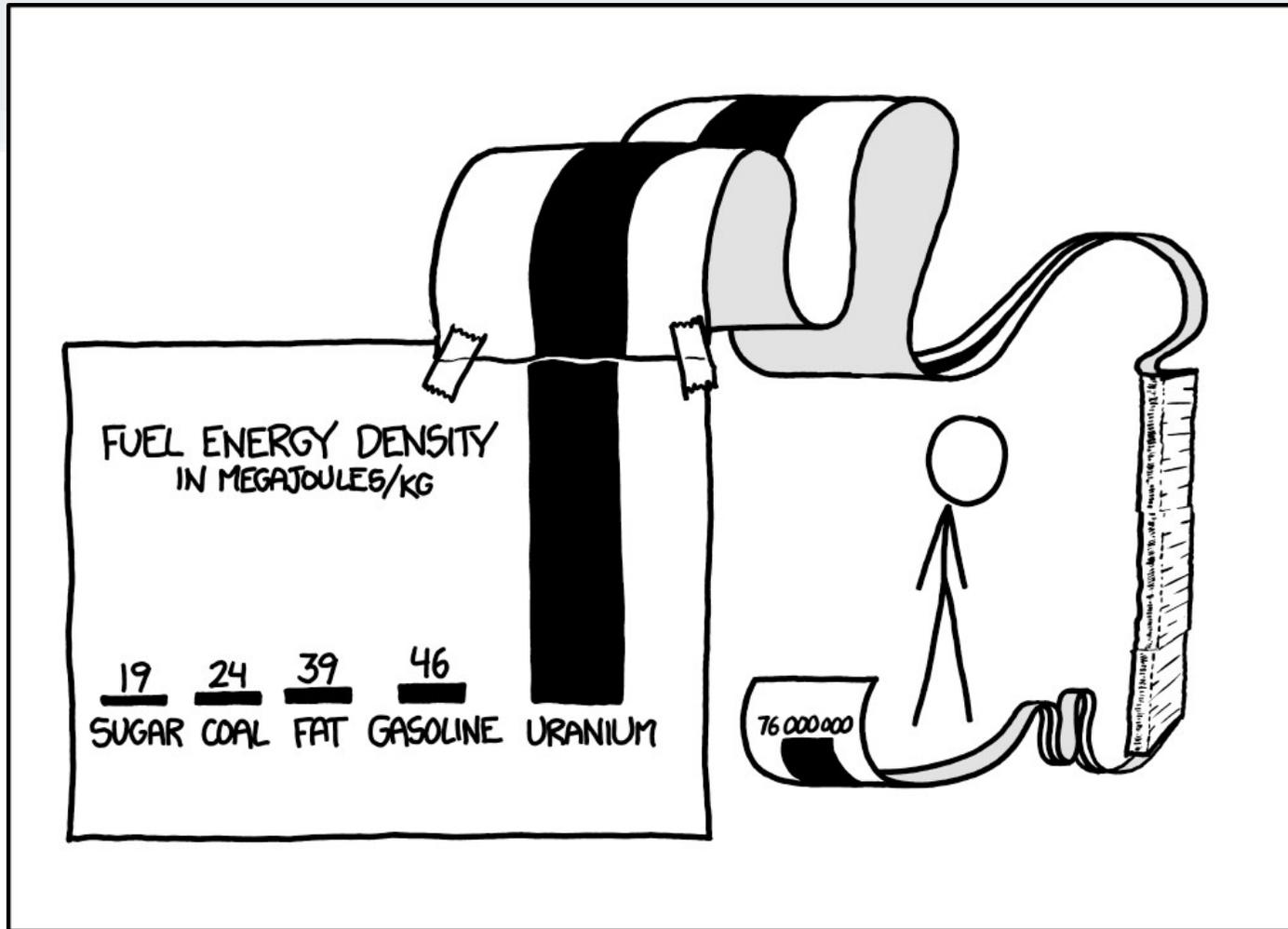
Energiegehalt von Brennstoffen: Uran

 Kohle ~ 8 kWh

 Rohöl ~ 12 kWh

 Uran ~ 24.000.000 kWh

 Uran enthält 2 Millionen mal mehr Energie als fossile Brennstoffe!



SCIENCE TIP: LOG SCALES ARE FOR QUITTERS WHO CAN'T FIND ENOUGH PAPER TO MAKE THEIR POINT *PROPERLY*.

Leistung von Kraftwerken: Energy Return (EROI)

EROI

=

$$\frac{E_{\text{out}}}{E_{\text{in}}}$$

Energy Return on Investment (EROI) =

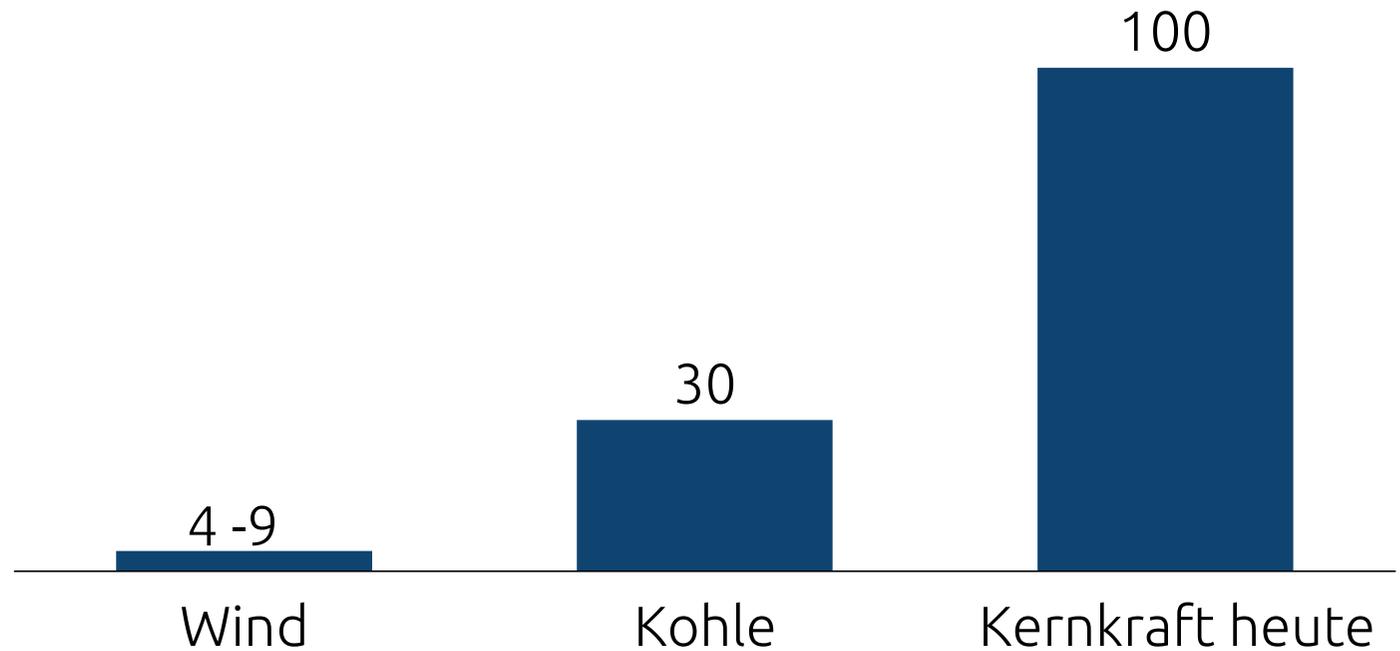
Verhältnis der eingesetzten Energiemenge für Bau, Brennstoff, Wartung, Sicherheit, Rückbau usw. eines Kraftwerks (E_{in}) zur Gesamtmenge der gelieferten nutzbaren Energie (E_{out})

Leistung von Kraftwerken (EROI)

EROI

=

$$\frac{E_{\text{out}}}{E_{\text{in}}}$$



Daniel Weißbach et al, Energy 52 (2013) 210

Status quo – Potenzial – Ziel



Status quo: aktuelle
Kernkraft nur wenig
stärker als Fossile



Potenzial:
Millionenfach höhere
Energiedichte von
Uran



**Ziel: Kraft des
Brennstoffs voll
ausschöpfen**

Anreicherung

Ein Kernreaktor benötigt eine Mindestmenge (Dichte) an gut spaltbarem Material (meist Uran-235 oder Plutonium-239) um anzuspringen.

Natururan: 0,7% U-235

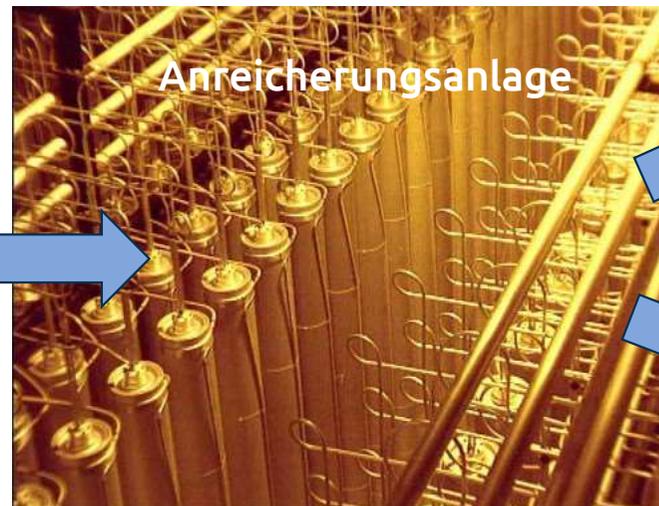


Heutige Leichtwasserreaktoren:
Ca. 3% U-235, Rest U-238

Anreicherung

8 Tonnen

Natururan
99,3% U-238
0,7% U-235



Anreicherungsanlage

1 Tonne

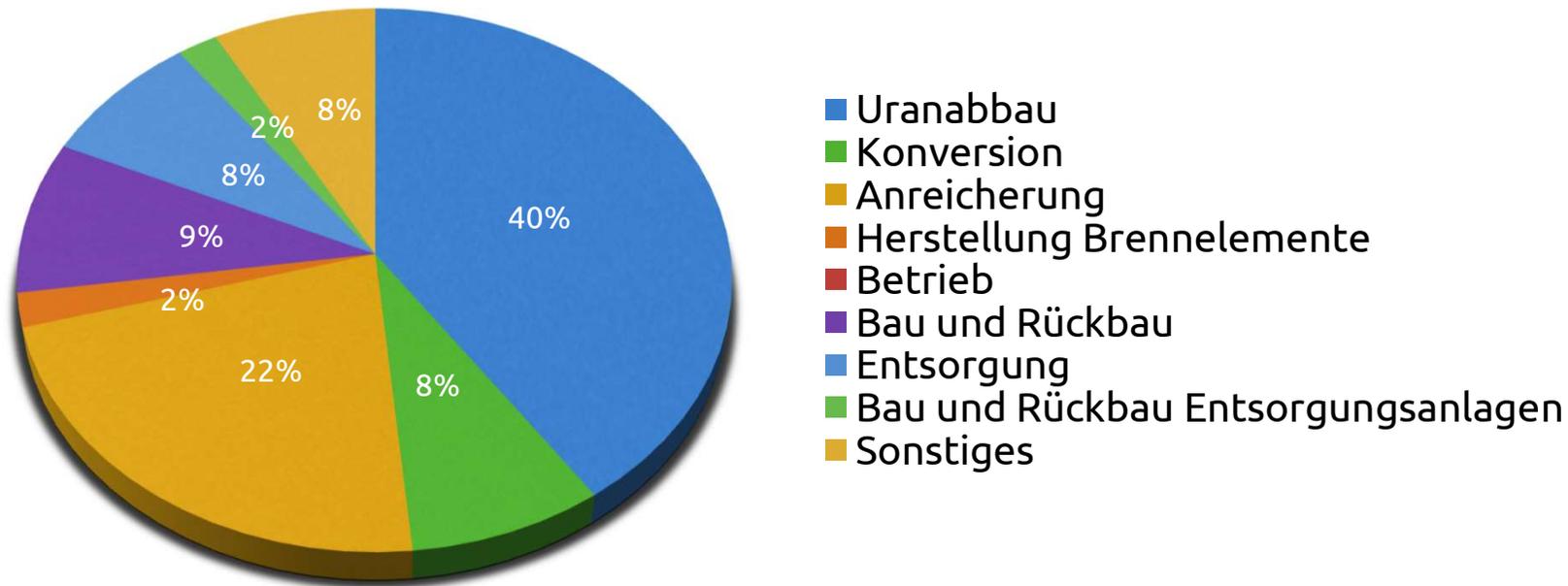
angereichertes Uran
96,4% U-238
3,6% U-235

7 Tonnen

abgereichertes Uran
99,7% U-238
0,3% U-235

Der heutige teure Brennstoffkreislauf

Zusammensetzung der nötigen Energieaufwände in der nuklearen Energiekette

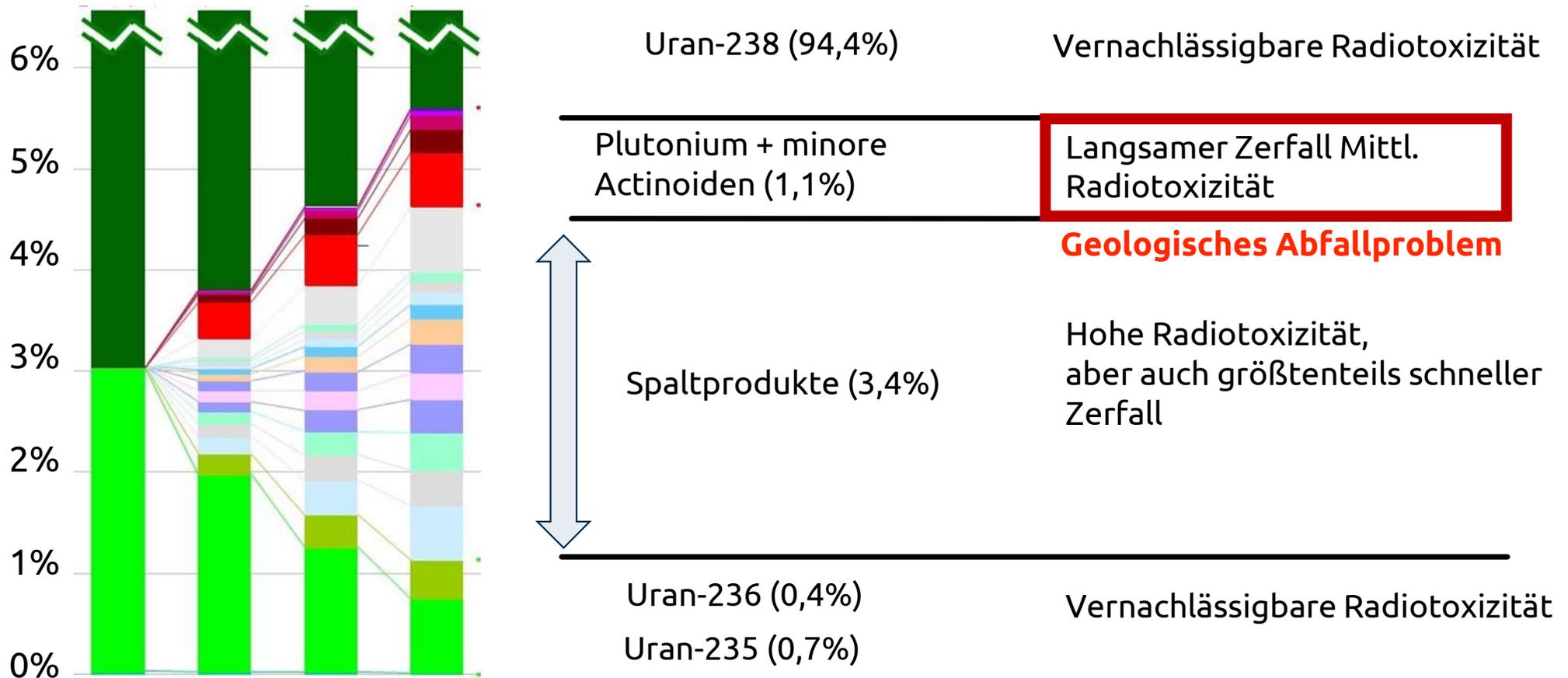


Quelle: Vattenfall, EPD Forsmark 2009/10

Erntefaktor: 29 → 75 → 105 → 115

100% Diffusion Ca 20% Diffusion + Zentrifuge 100% Zentrifuge 100% LASER

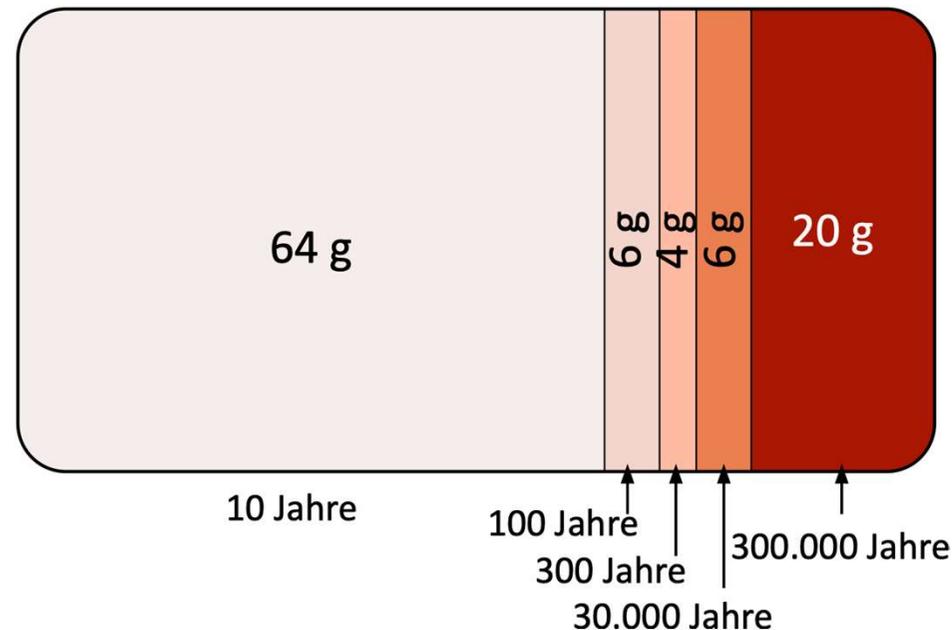
Was erbrütet, aber nicht verbrannt wurde, ist der „schlimmste“ Abfall



Aber ist der Abfall wirklich so schlimm?

Die nukleare Schokoladentafel von **100 g**, die aus der Stromversorgung (direkt und indirekt) eines Menschen über seine gesamte Lebenszeit als radiotoxischer Abfall zurückbleibt - je roter desto langlebier.

- **64 Gramm** Spaltprodukte sind nach wenigen Jahren abgeklungen.
- **6 Gramm** der Spaltprodukte leben zwar 30.000 Jahre, sind in der Toxizität jedoch tausendfach harmloser als die **20 Gramm Plutonium** (bei Inkorporation). Letztere dominieren somit das geologische Endlagerproblem.



+1,5 kg ungenutztes Uran
+10 kg abgereichertes Uran

Aufarbeitung: Fest vs. flüssig



Fest

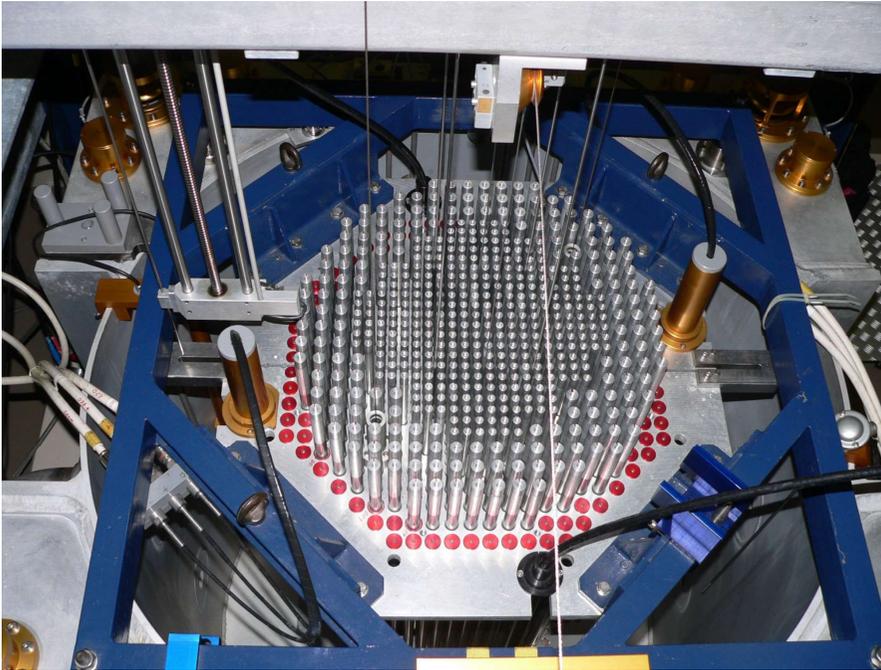
- Nasschemische Aufarbeitung mit PUREX
- Brennstäbe werden komplett mit Ummantelung in Säure aufgelöst



Flüssig

- Nasschemische oder **pyrochemische** Aufarbeitung
- Keine Ummantelung
- Online-Betrieb möglich
- Dadurch weitere Verbesserung der Neutronenökonomie

Heutige Reaktordesigns



Nahezu alle sind wassermodiert und nutzen **feste Brennelemente**:

- teurer externer Brennstoffkreislauf
- Nutzen **nur 1%** des abgebauten Urans
- **99% Abfall**, der geologische Endlager benötigt
- Niedrige Leistungsdichte
- Hoher Innendruck

Thermische Wassermodierte Reaktoren mit festen Brennelementen ist ungefähr die ineffizienteste Art, Kernkraft zu nutzen.

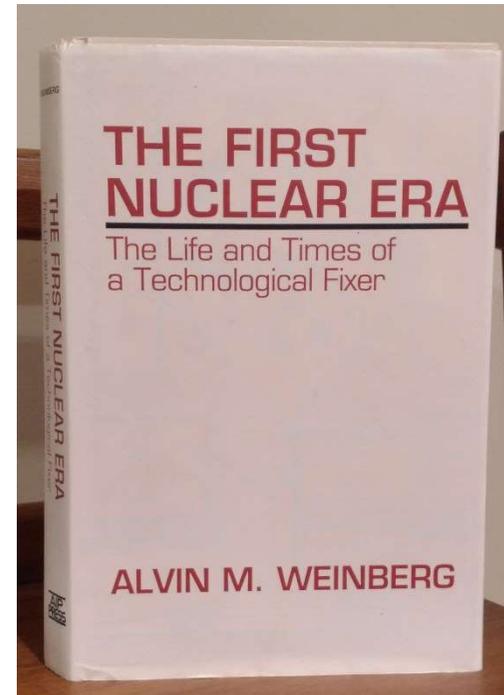
Noch schlimmer geht es nur in Kombination mit natriumgekühlten „Brütern“

Die erste nukleare Ära – Alvin M. Weinberg



*1915 – †2008

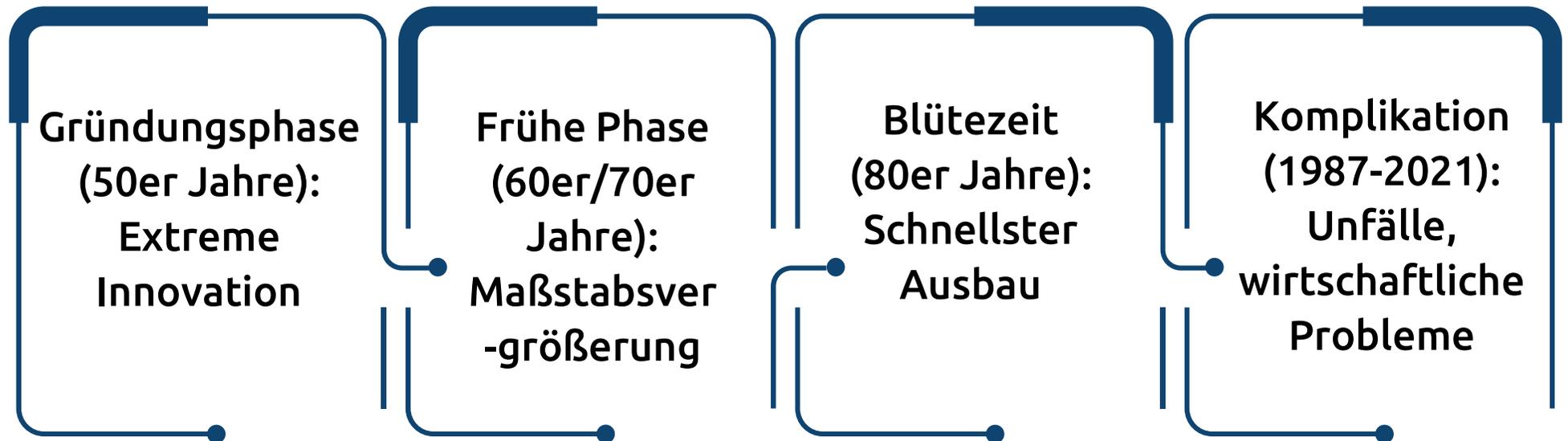
Erfinder des Druckwasserreaktors und Leiter des ersten (und letzten) Flüssigsalz-Reaktorexperiments (MSRE) am Oak Ridge National Lab (ORNL) 1965-1969



Was prägte die erste nukleare Ära?

- Beginn mit dem zweiten Weltkrieg, Angst vor deutscher Atombombe
- Rasant schnelle Entwicklung zum ersten Reaktor in den 40er Jahren, geprägt von militärischen Überlegungen
- Druckwasserreaktor wurde aufgrund staatsbürokratischer Entscheidungen durchgesetzt
- Entwicklung auch des Brennstoffkreislaufs (z.B. PUREX) hauptsächlich militärstrategisch vor dem Hintergrund des Kalten Krieges
- Damit gebrochene Versprechen der Möglichkeiten der Nukleartechnik (billigste Energie, mobile Reaktoren als Fahrzeugantrieb, u.m.)
- Zusammen mit aufkommenden Anti-Atombewegungen und dem maßlos übertriebenen „Endlagerproblem“ führte dies praktisch zum Stopp sämtlicher nuklearer Entwicklungen

Aus der Vergangenheit lernen



Gründungsphase

1950er Jahre



Nuklearforschungszentren in vielen Ländern

Keine Genehmigungsbehörden

Alle wichtigen Reaktormodelle als Experimente

Seitdem kaum noch Innovation!

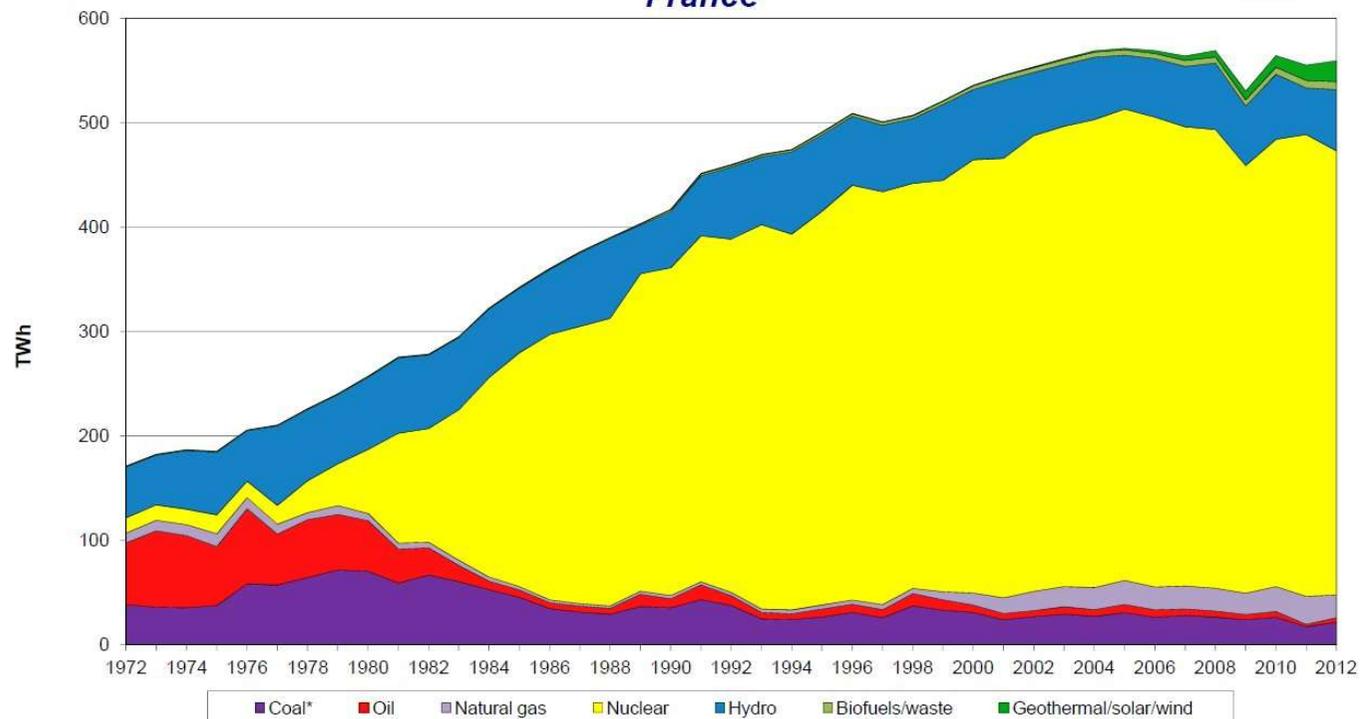
Messmer-Plan: systematischer Ausbau

IEA Energy Statistics

Statistics on the web: <http://www.iea.org/statistics/>

Electricity generation by fuel

France



* In this graph, peat and oil shale are aggregated with coal, when relevant.

© OECD/IEA 2014

For more detailed data, please consult our on-line data service at <http://data.iea.org>.

Unser neues Design

Design-Vorteile

1. Ideale Brennstoffnutzung

2. Kompakter Reaktorkern

3. Hohe Temperatur: 1000°C



Maximale Leistungsdichte

Energieaufwände (E_{in}) LWR vs. Dual Fluid



The image shows the Energy Return on Investment (EROI) formula. On the left, the text 'EROI' is written in white on a green rounded rectangle, followed by an equals sign inside a blue circle. To the right of the equals sign is a fraction with E_{out} in the numerator and E_{in} in the denominator, separated by a horizontal line.

$$\text{EROI} = \frac{E_{out}}{E_{in}}$$

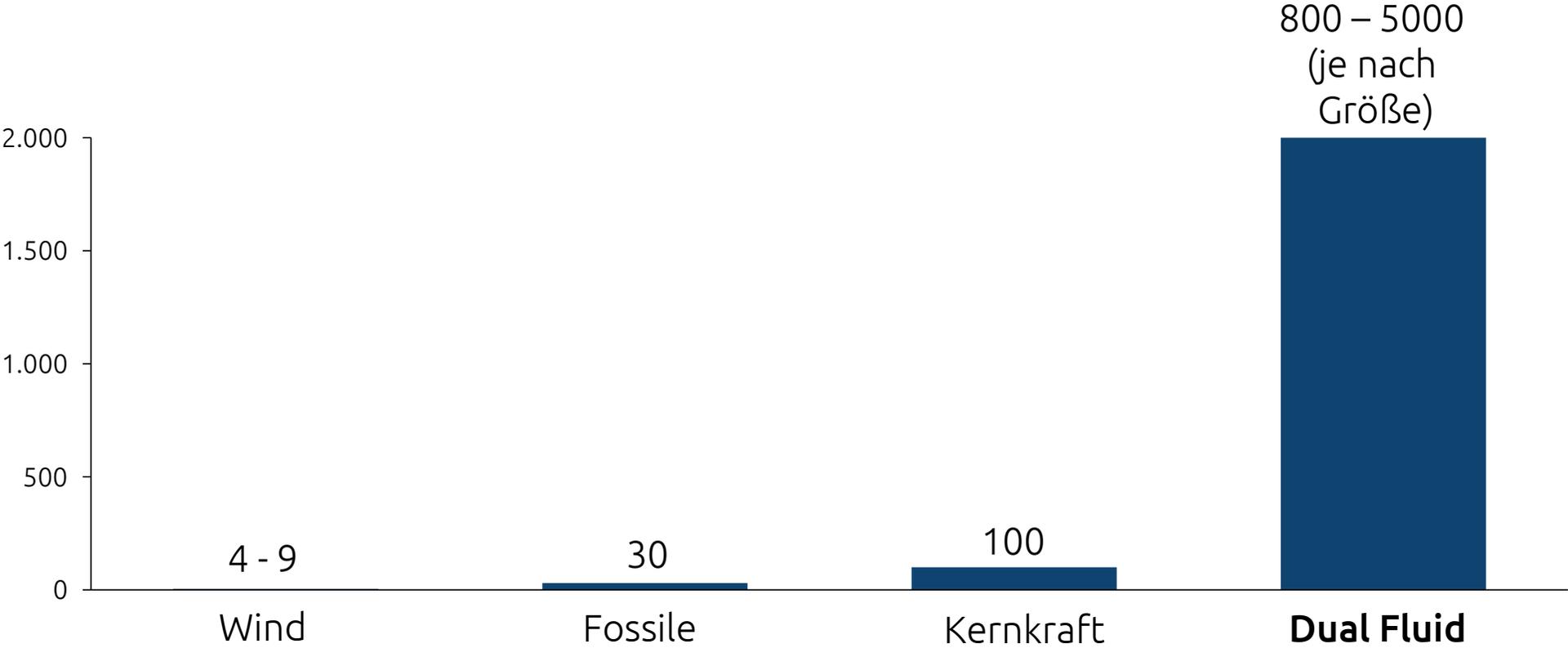
E_{in} Leichtwasserreaktor vs. Dual Fluid



Dual Fluid spart **90%** der
Energieaufwände ein

- Kraftwerk:** Bau, Betrieb, Wartung, Rückbau
- Brennstoff:** Beschaffung, Veredelung, Entsorgung

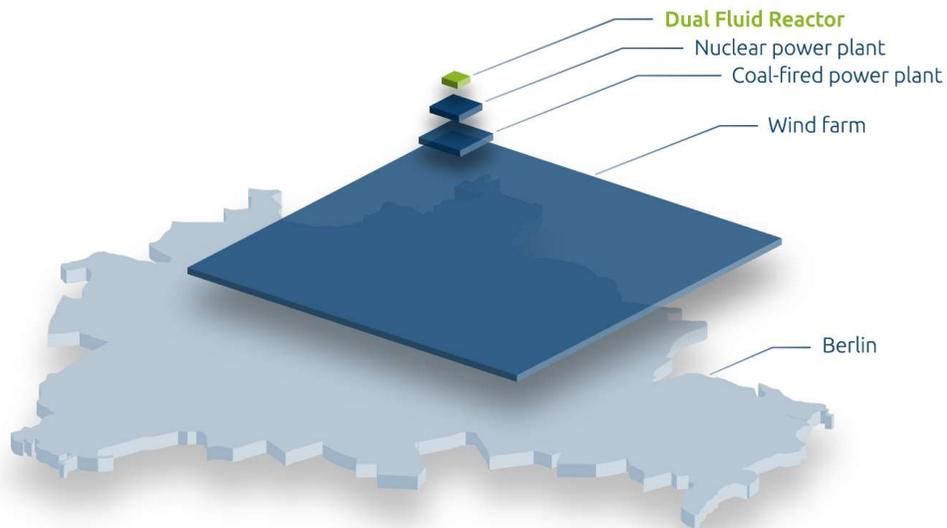
Energy Return Dual Fluid (EROI)



Minimale Fläche, minimale Emissionen

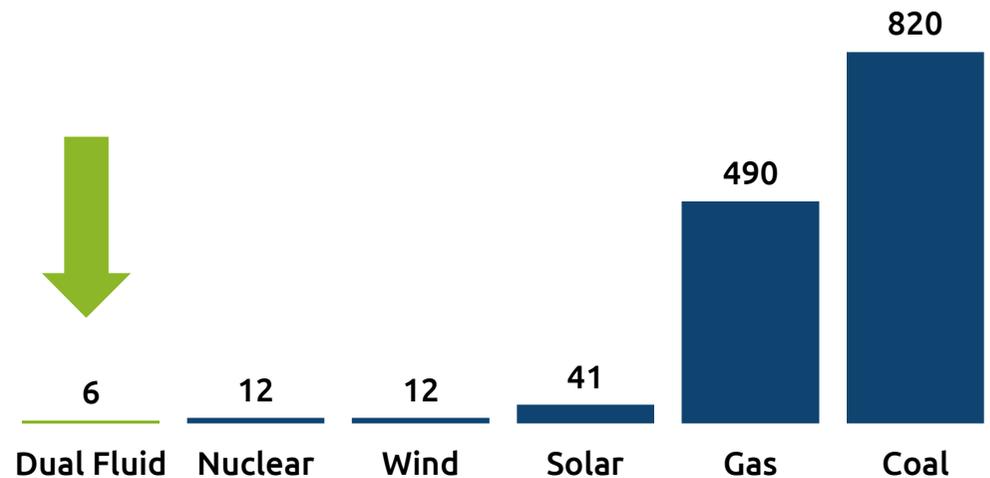
Minimum size, maximum power

Optimum efficiency thanks to low space and low resource requirements.



Low emission values from the outset

Minimum life cycle emissions; zero emissions during ongoing operations.



in gCO₂eq/kWh, source other than Dual Fluid: [IPCC Report 2014, Annex III](#)

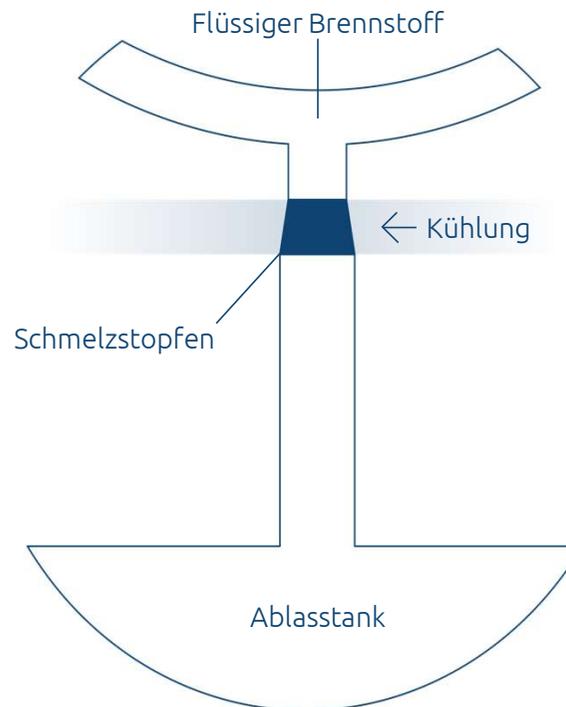
Geschützt durch Naturgesetze

Selbstregulierende Temperatur

→ „Kernschmelze“ ausgeschlossen

Unterirdisches Containment

→ Alle Substanzen sicher verwahrt



Schmelzstopfen

→ Brennstoff fließt in sichere Tanks

Walk-away-safe

→ Fehlbedienung gefahrlos

Energiekosten

Levelized Costs of Electricity

Levelized costs from operator's view are a **life cycle analysis**, including full capital costs, operation and maintenance (including fuel), as well as decommissioning. Most costs are discounted with a rate of **3 Percent per year**.

The sum is **23 €/MWh**. Although Dual Fluid as power plant producer earns a **profit of 3.1 EUR from each sold MWh**, the **IRR** for the operator is still **assumed to be considerable 9%**, assuming a selling price of **35 €/MWh**. Addition use of waste heat, e.g. for district heating or desalination can increase the IRR to 11%. Note also that competitors, when they publish lower numbers, are often not transparent, or assume high CO2 taxes to remain competitive. **This is not necessary for Dual Fluid.**

| Electricity LCOE , €/MWh | | |
|------------------------------|------------|--|
| Item | Costs | Comment |
| Nuclear part | 2.1 | |
| Conventional part | 1.3 | Total investment sums up to 7.4 €/MWh . We assume 25% operator's equity, the debt is depleted over the lifetime of the plant, i.e. 60 years . Nuclear and conventional part costs are derived from engineering life cycle analysis. |
| Other capital costs | 0.9 | |
| Profit for Dual Fluid | 3.1 | |
| Interest | 2.6 | Not discounted, paid over the amortisation time, i.e. 20 years |
| Maintenance | 8.5 | Estimated by 3.5% of the power plant production costs per year |
| Personnel | 1.0 | |
| Fuel | 0.2 | Fuel is assumed to be bought once at the beginning and is not discounted |
| Decommissioning | 1.3 | 25% provision of the power plant production costs built up over the amortization time, i.e. 20 years |
| Other | 1.9 | Other costs, e.g. Insurance,, ... |
| TOTAL | 23 | = 2.3 €¢/kWh |

Emissionsfreier Wasserstoff



Dual Fluid produziert **emissionsfreien Wasserstoff zu einem Bruchteil des** Preises von Wasserstoff aus Windenergie (Verfahren: S-I-Zyklus oder HTE)

| Gesamt US\$/MJ ¹ | | |
|-----------------------------|-----------|---------|
| aus Windenergie | DF300 | DF1500 |
| 6 – 8 | 1,2 – 1,5 | 0,9 – 1 |

1. Heizwert: 125 MJ/kg

Wasserstoff Dampfreformierung heute: 1,3-1,5 C

LCOE Kostenübersicht: Strom und Wasserstoff



Dual Fluid can keep up well with **today's (pre-crisis) energy costs**

Dual Fluid provides the cheapest energy source, proven by economic calculations according to engineering standards.

Competitors...

- have higher costs,
- do not publish such calculations, or
- rely on high carbon pricing.

1. LCOE: Levelized Cost of Energy. Sources other than Dual Fluid: World Bank, 2020

| Electricity LCOE ¹ , €¢/kWh | | | |
|--|---------------------|-------|--------|
| Coal | Nuclear power today | DF300 | DF1500 |
| 5.5 | 6.5 | 2.5 | 2.1 |

| Hydrogen €¢/MJ ¹ | | | |
|-----------------------------|-----------------|-------------------------------|-------|
| Green hydrogen | Steam reforming | DF300 (600 MW _{th}) | DF30G |
| 7-10 | 1.4 | 1.5 | 0.7 |

Notes:

- DF300 is the first product with approx. 600 MW_{th} / 300 MW_{el} output
- Description of future reactor models: slide 35f
- Prices shown are initial prices, which will scale down according to EROI by two orders of magnitude.

Machbarkeit und Timeline

Welche Materialien halten stand?

Brennstoff und Blei bei 1000° C



Andere Industrien:
bewährte antikorrosive
Materialien vorhanden



Schwerpunkt alte
Kernindustrie: preiswerte
Materialien (Stahl)



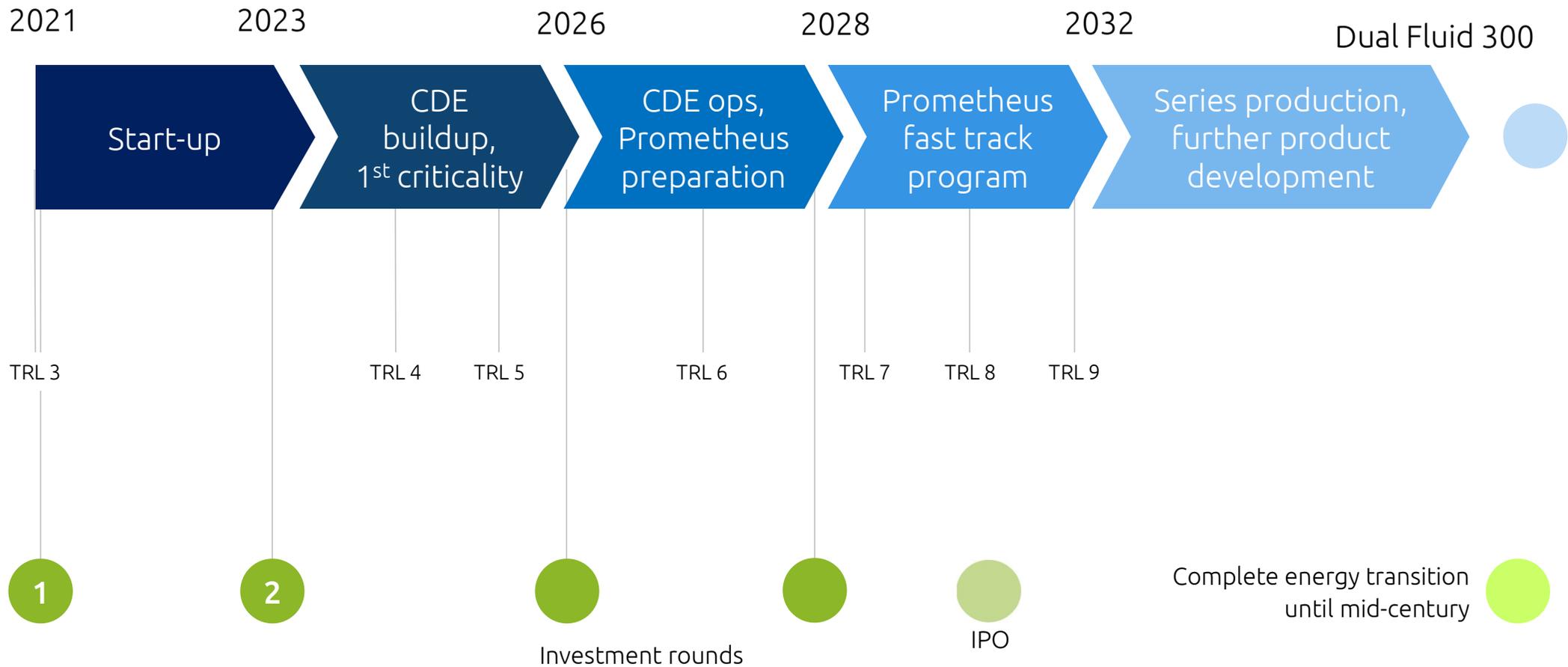
Reduzierter Material-
aufwand bei Dual Fluid:
teure Materialien möglich

Möglichkeiten: Refraktärmetall-Legierungen und Keramiken

1 Siliciumcarbid (SiC)

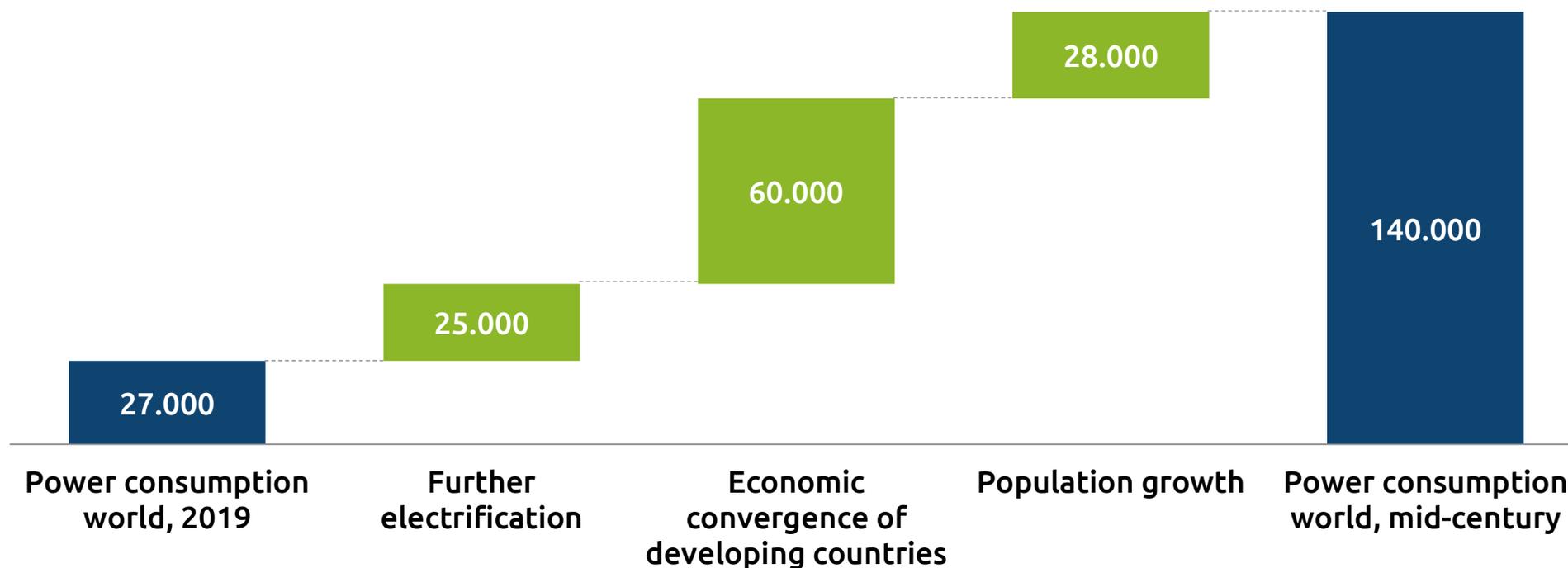
2 Zirconiumcarbid (ZrC)

Serial production-ready within a decade



Market sizing for an energy-rich world

World power consumption growth till mid-century, in TWh/a



Source: Dual Fluid Energy Inc.

Folie 36

A1 For the labels, I would use:

Autor; 16.05.2023

A2 First unchanged

Autor; 16.05.2023

A3 Second: just Further electrification (mid-century is now in the title)

Autor; 16.05.2023

A4 Third: Economic convergence (catch-up from developing countries)

Autor; 16.05.2023

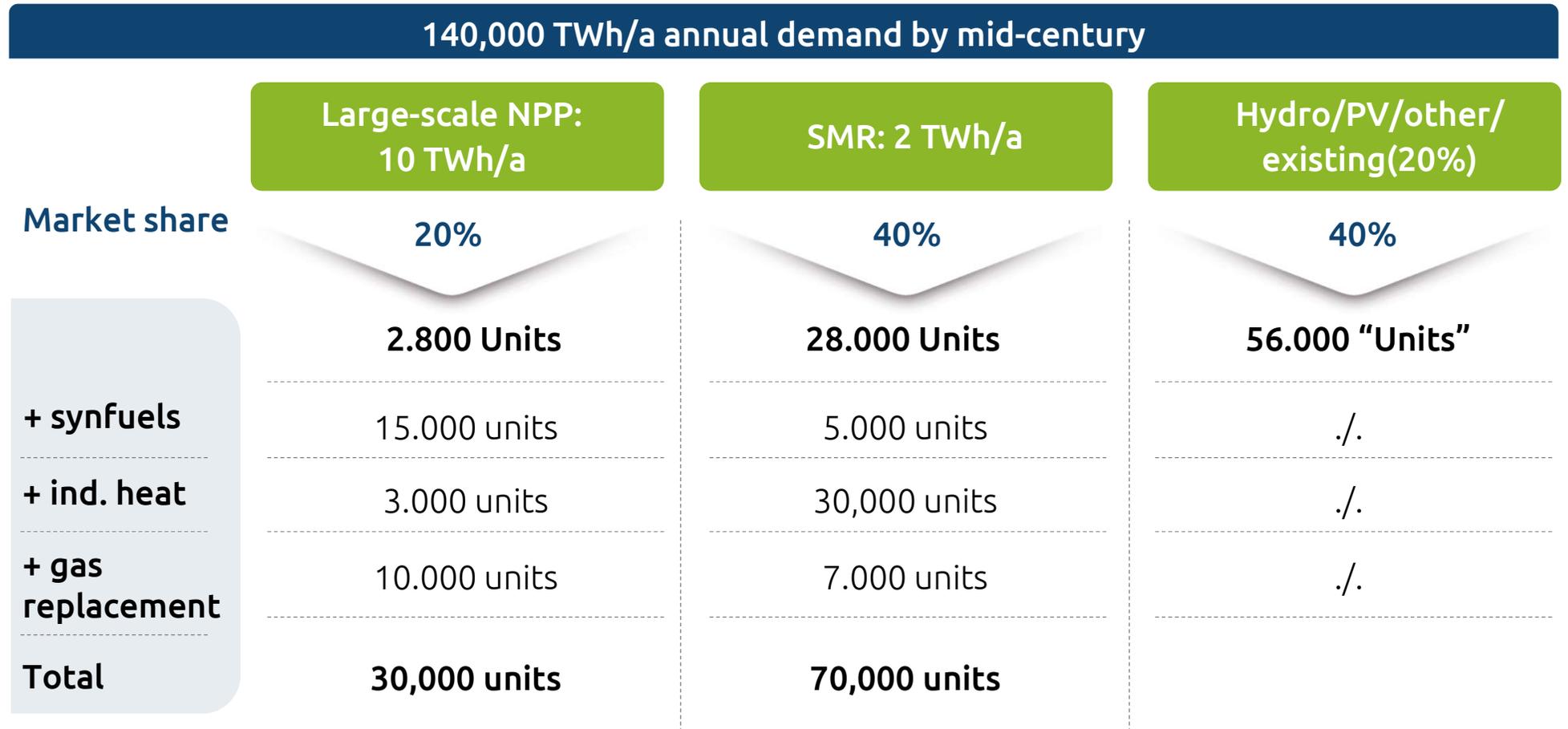
A5 Fourth and fifth: unchanged

Autor; 16.05.2023

A6 Do we want a different shade for the 2019 rectangle, like lighter green - since it is the starting point, the following rectangles are increases?

Autor; 16.05.2023

Market size including process heat plants



Source: Dual Fluid Energy Inc.

© 2022 Dual Fluid | info@dual-fluid.com

Warum Dual Fluid?

Effizient, günstig, schnell



Schöpft Potenzial des
Brennstoffs voll aus



Senkt Energiekosten
um die Hälfte



Schnell realisierbar
und einsetzbar

Dual Fluid takes us into a “Second Nuclear Era”

- Dual Fluid 300 as the entry-level model
- Large Dual Fluid 1500 – power plants fired by nuclear waste
- Dual Fluid 30 000 – synthesis plants for zero-emission fuels and hydrogen
- Tiny reactors to power spacecraft and flying cars with lifelong propulsion systems
- Radionuclide batteries
- Research and development on nuclear fusion and novel propulsion systems

Electricity costs fall below 1 €cent/kWh – boosting industrial evolution

The company's share structure guarantees that its mission will be continued.

Erfahrenes interdisziplinäres Team



Dr. Armin Huke
President, Chairman of
the Board of Directors

Promotion in
Kernphysik an der TU
Berlin. Seit 2009
Geschäftsführer des
Instituts für Festkörper-
Kernphysik, Berlin.
Haupterfinder.



Dr. Götz Ruprecht
Managing Director,
CEO

Promotion in
Kernphysik an der TU
Berlin. Research
Associate am TRIUMF
National Laboratory,
Kanada. Führende
Beteiligung an
internationalen
Forschungsprojekten.
Erfinder.



Prof. Ahmed Hussein
Director

Professor emeritus
der Physik an der
University of Northern
British Columbia.
Forschung in Kern-
und Teilchenphysik
am TRIUMF National
Lab, Kanada, und am
Los Alamos National
Lab, USA. Erfinder.



Dr Titus Gebel
Director

Promotion in Jura an
der Universität
Heidelberg.
Unternehmer,
Inkubator und
Investor. Gründer und
langjähriger CEO der
Deutsche Rohstoff AG.

Erfahrenes interdisziplinäres Team



Dr. Björn Peters
CFO

Physiker, Inhaber des Forschungsinstituts Peters Coll. für Energie- und Rohstoffwirtschaft. Langjährige Erfahrung in Kraftwerksfinanzierung. Vormalig McKinsey, Deutsche Bank AG und Deutsche Börse AG.



Dipl.-Ing. Stephan Gottlieb
COO

Senior Technical Officer am Labor für Fahrzeugantriebe, Fachhochschule Dortmund. Vormalig Airbus Industries und Fraunhofer Institut. Erfinder und Entwickler, Inhaber zahlreicher Patente. Erfinder.



Dipl.-Phys. Daniel Weißbach
CTO

Abschluss in Atomphysik an der TU Berlin. Forschung in Kernphysik und Nukleartechnologie, Doktorand an der Universität Stettin und am Institut für Festkörper-Kernphysik Berlin. Erfinder.



Lisa Raß
Head of Communications

Literatur- und Sprachwissenschaftlerin, Journalistin. Früher Kernkraft-Gegnerin, heute für Ökomoderne und nuklearen Humanismus.