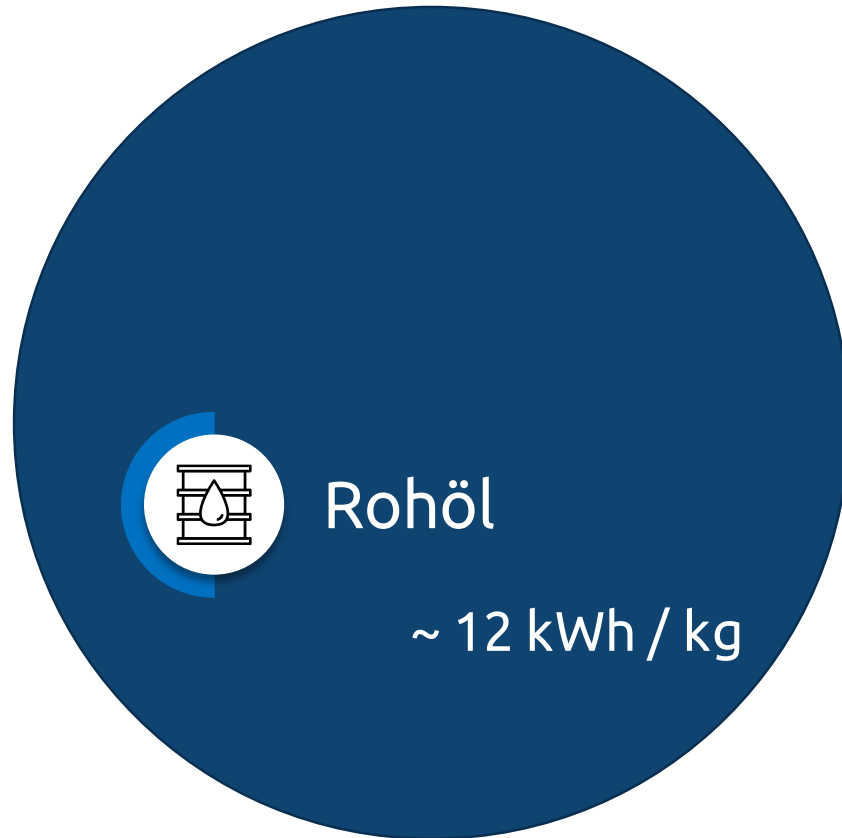
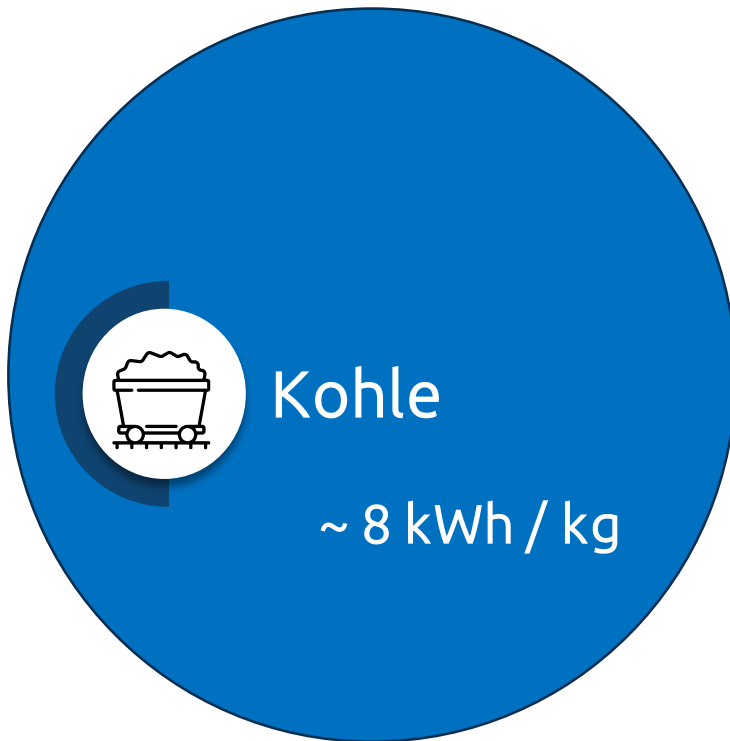


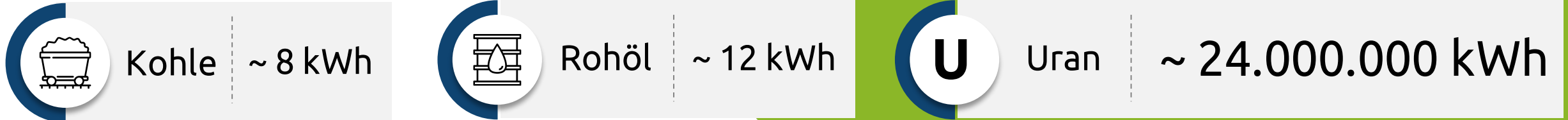
# Reinventing Nuclear

# Warum Kernkraft neu erfinden?

# Energiegehalt von Brennstoffen: Kohle und Rohöl



# Energiegehalt von Brennstoffen: Uran



**Uran enthält 2 Millionen Mal mehr Energie als fossile Brennstoffe!**

# Leistung von Kraftwerken: Energy Return (EROI)

EROI

=

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

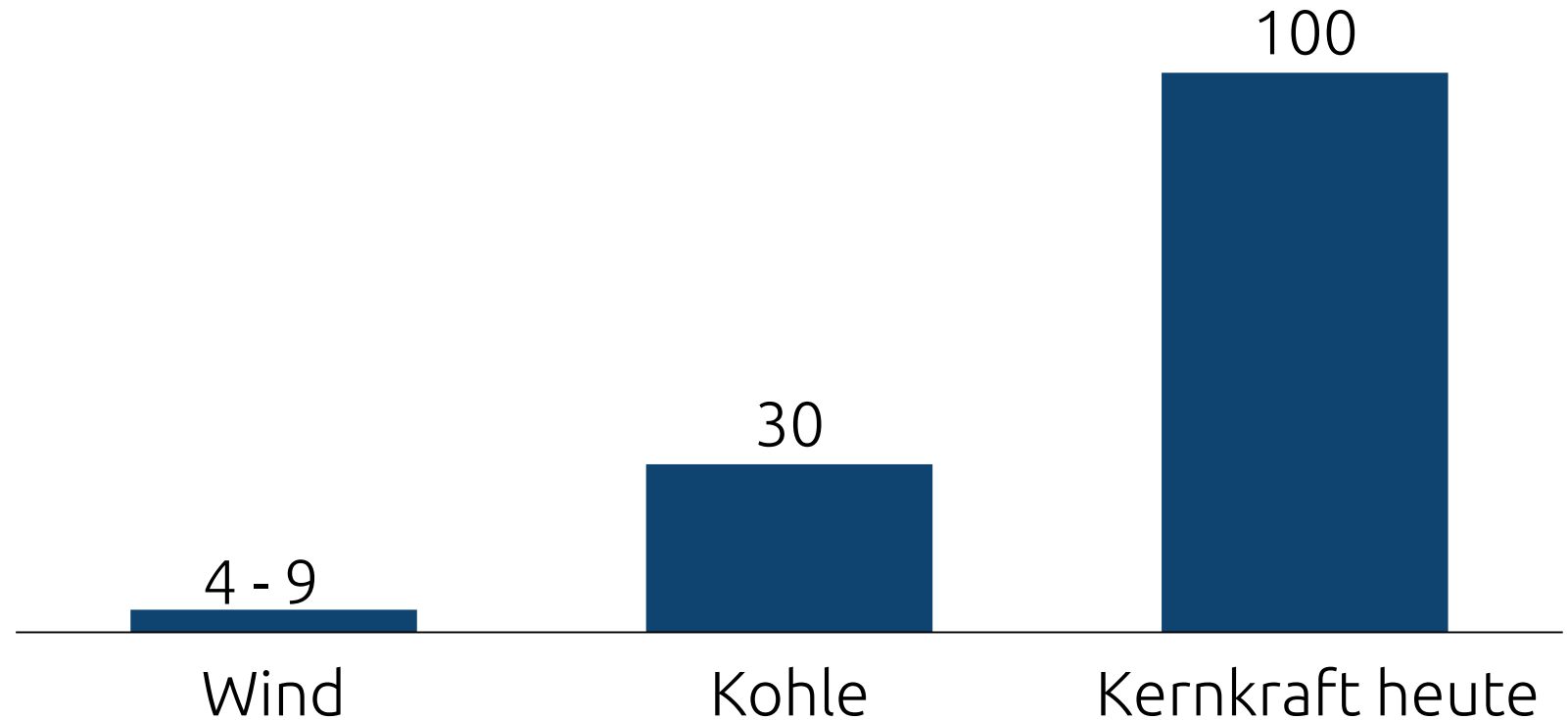
Energy Return on Investment (EROI) =  
Verhältnis der eingesetzten Energiemenge ( $E_{\text{in}}$ )  
für Bau, Brennstoff, Wartung, Sicherheit, Rückbau,  
Entsorgung etc. – zur gelieferten **nutzbaren**  
Energiemenge ( $E_{\text{out}}$ )

# 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:** Kernkraft  
"erntet" 3,5-mal  
mehr als Fossile



**Potenzial:**  
Millionenfach höhere  
Energiedichte von  
Uran



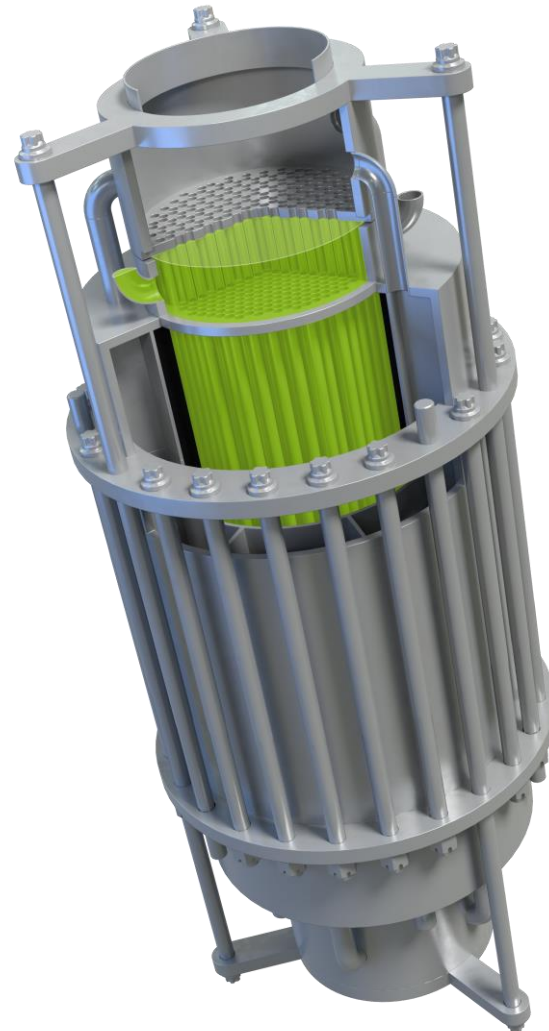
**Ziel:** Kraft des  
Brennstoffs voll  
ausschöpfen

# Unser neues Design

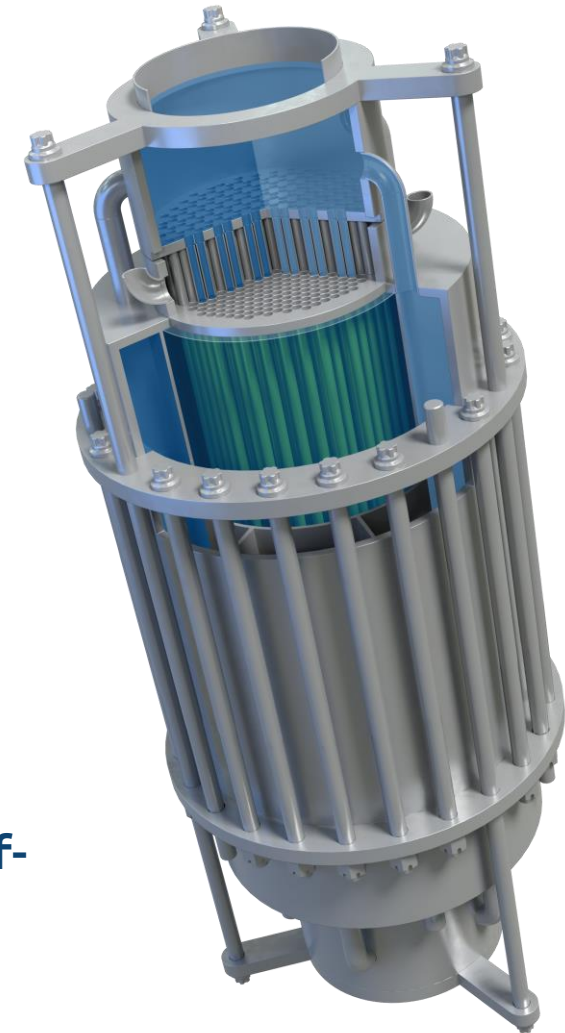


# Das Dual Fluid Prinzip

- **Flüssiger Brennstoff:** Thorium, Natururan, aufbereiteter Atommüll
- **Flüssiges Kühlmittel:** Blei



**Brennstoff-  
Kreislauf**



**Kühlmittel-  
Kreislauf**

# Design-Vorteile

1. Kompakter Reaktorkern

2. Hohe Temperatur: 1000°C

3. Volle Brennstoffnutzung



Maximale Leistungsdichte

# Energieaufwände LWR vs. Dual Fluid

# $E_{in}$ Leichtwasserreaktor vs. Dual Fluid



LWR: ~ 6 TWh

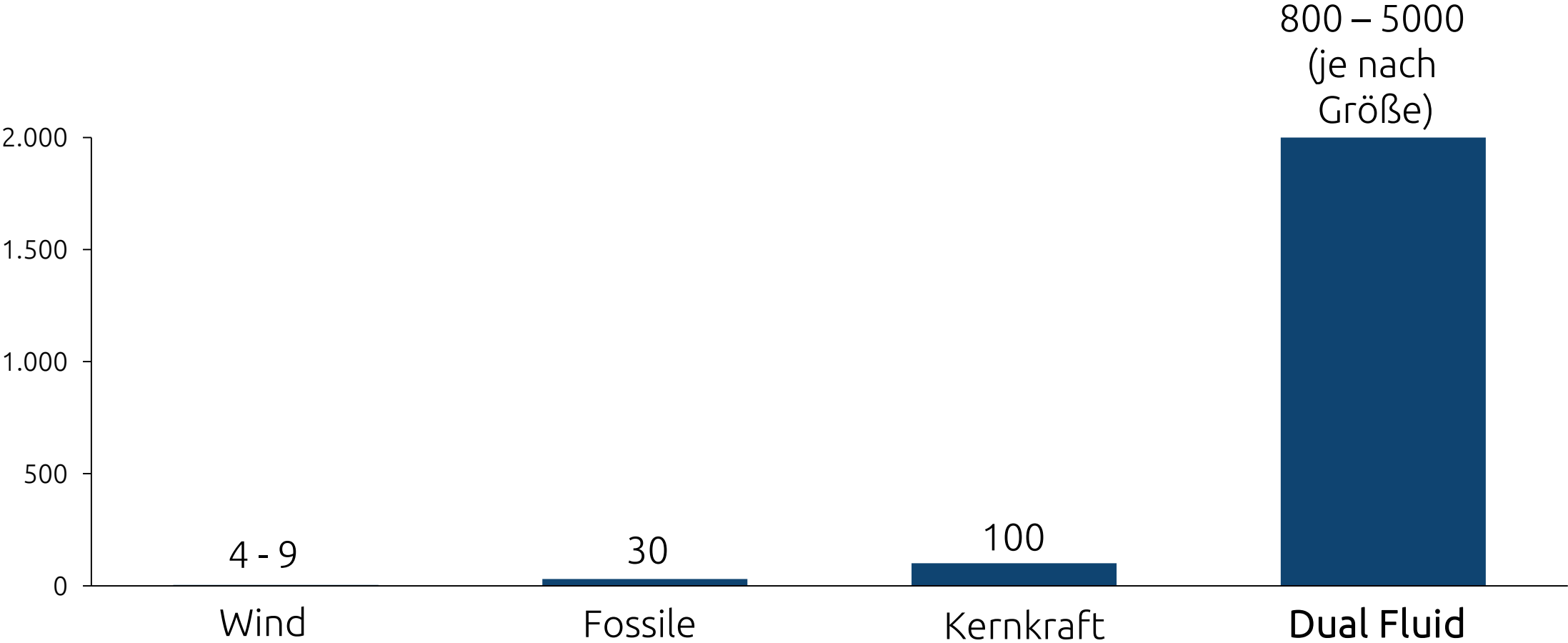


DF300: 0,5 – 0,6 TWh

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

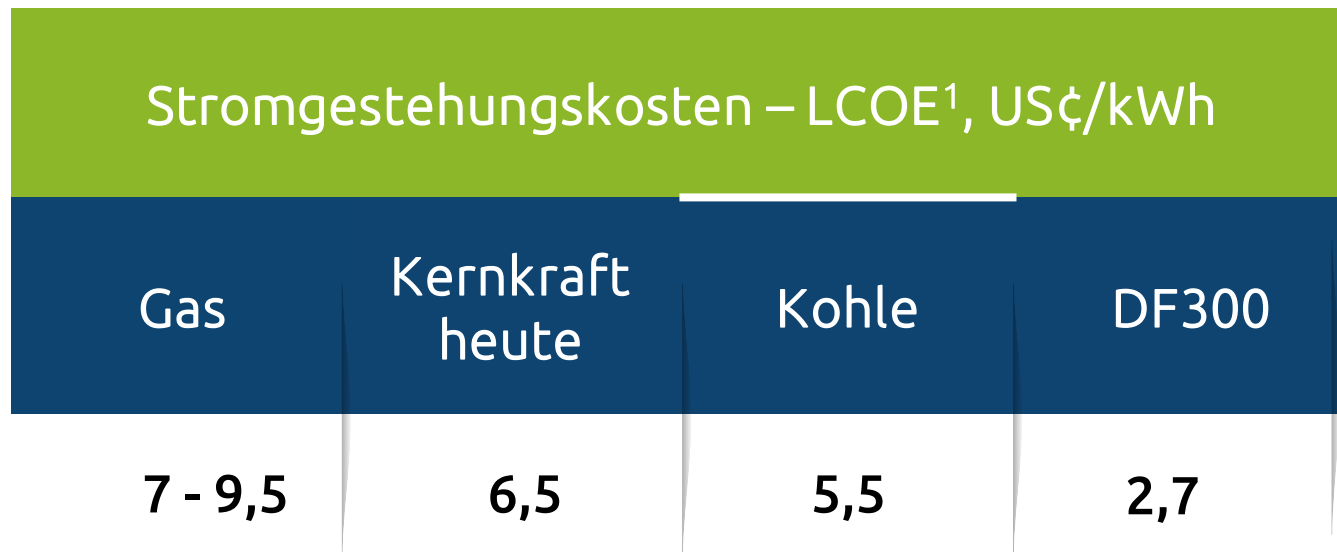
- Kraftwerk: Bau, Betrieb, Wartung, Rückbau
- **Brennstoff:** Beschaffung, Veredelung, Entsorgung

# Energy Return Dual Fluid (EROI)



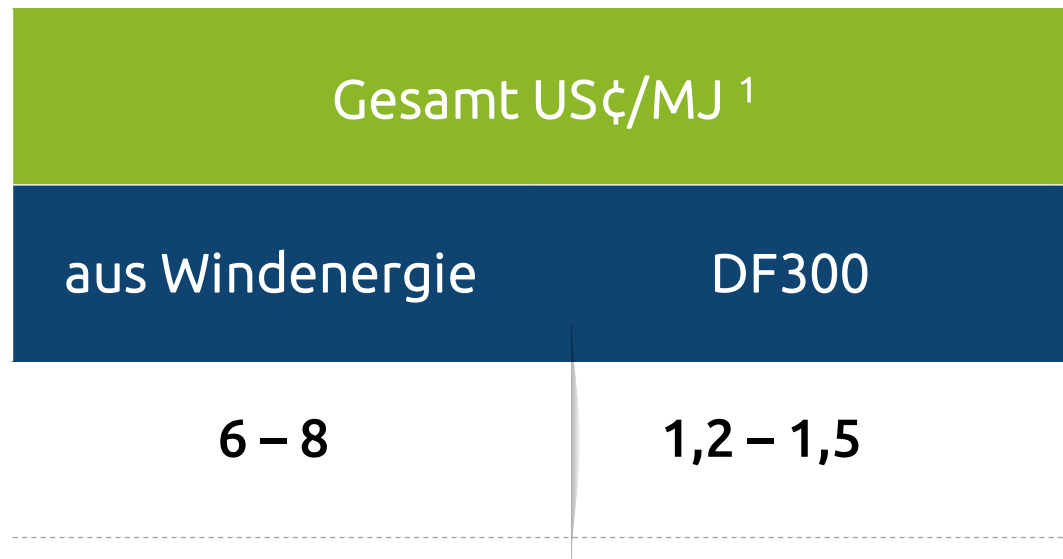
# Energiekosten

# Kostenvergleich Strom



<sup>1</sup>LCOE: Levelized Cost of Energy. Quellen außer Dual Fluid: World Bank, 2020

# Emissionsfreier Wasserstoff



1. Heizwert: 125 MJ/kg

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



# Sicherheit

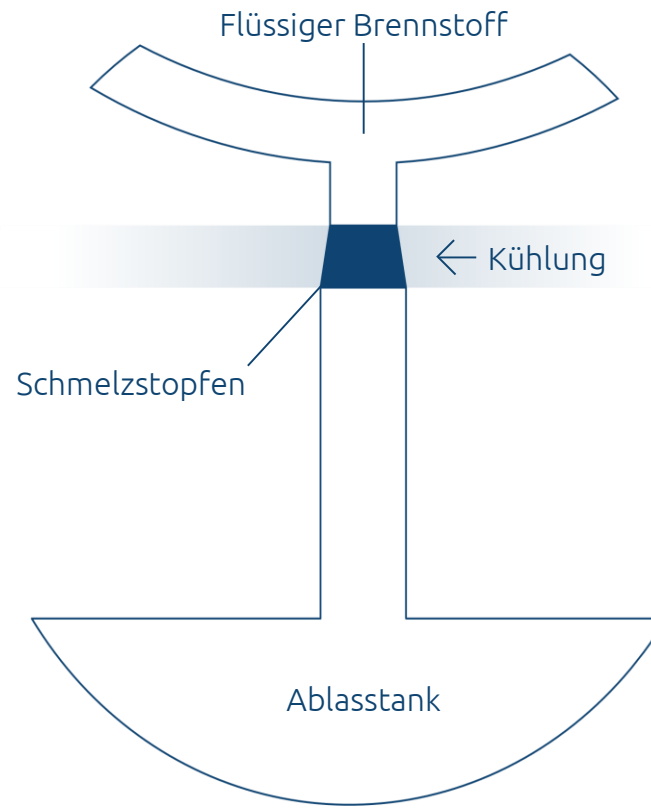
# Geschützt durch Naturgesetze

## Selbstregulierende Temperatur

→ „Kernschmelze“ ausgeschlossen

## Unterirdisches Containment

→ Alle Substanzen sicher verwahrt



## Schmelzstopfen

→ Brennstoff fließt in sichere Tanks

## Walk-away-safe

→ Fehlbedienung gefahrlos

# Nächste Schritte

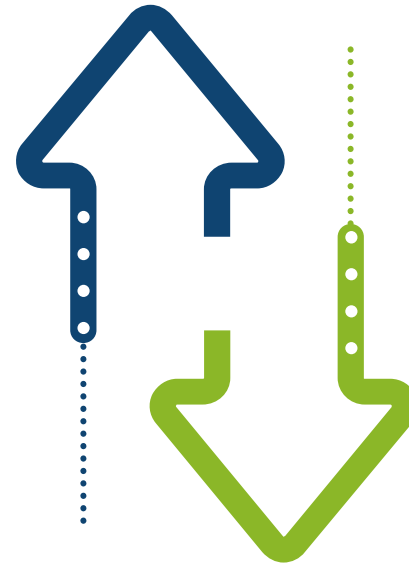
# Demonstrationsreaktor (CDE)

- Proof-of-Concept des Dual Fluid-Funktionsprinzips ca. 2026
- Kooperationsvertrag mit der ruandischen Atomenergiebehörde (RAEB)
- laufende Finanzierungsrunde
- Prototyp: Ende des Jahrzehnts
- Serienproduktion ab 2032



# Chancen

Anteil an effizient  
hergestellter Energie am  
Gesamtenergiemix steigt



Energiekosten sinken



Innovation



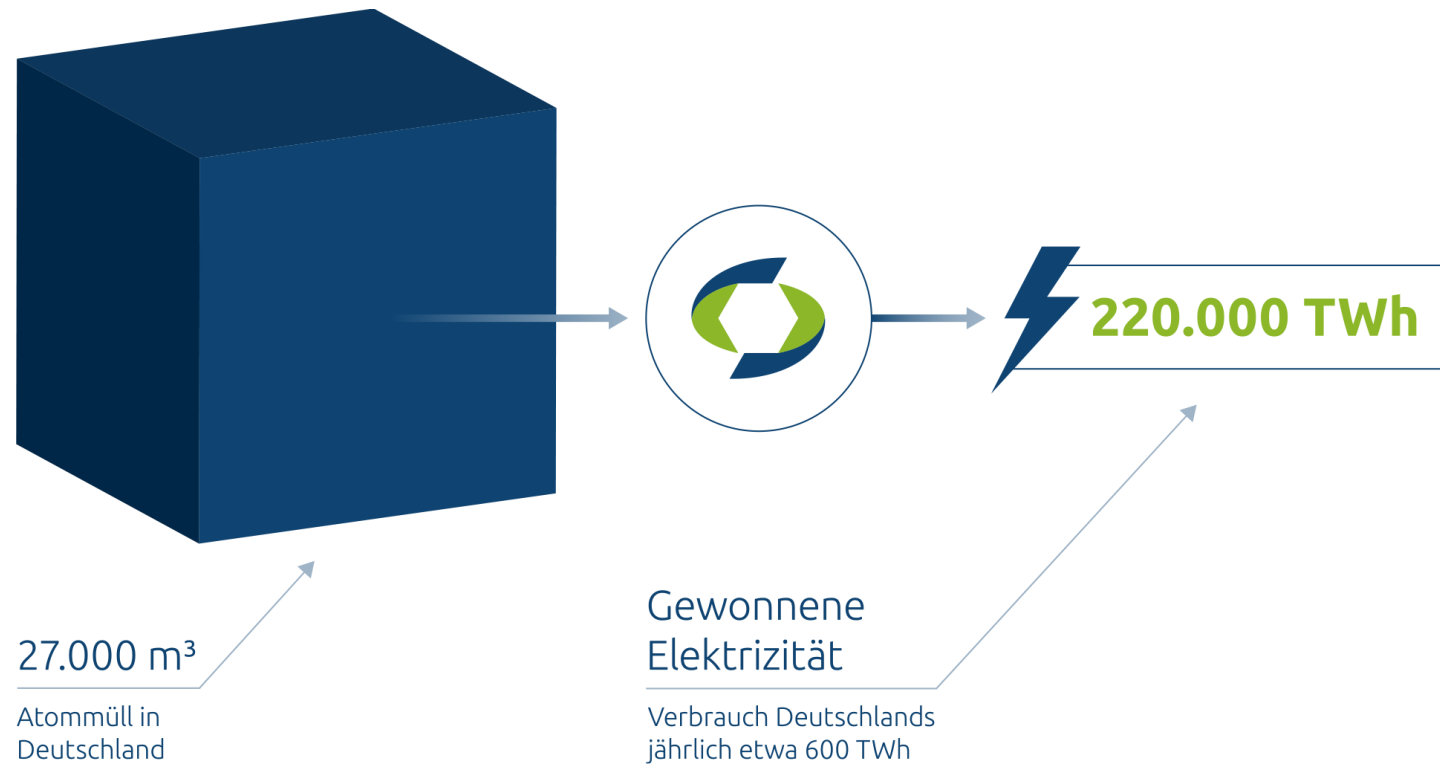
Nachhaltiges Wachstum



Wohlstand

# Annex

# Wie entschärft Dual Fluid das Abfallproblem?



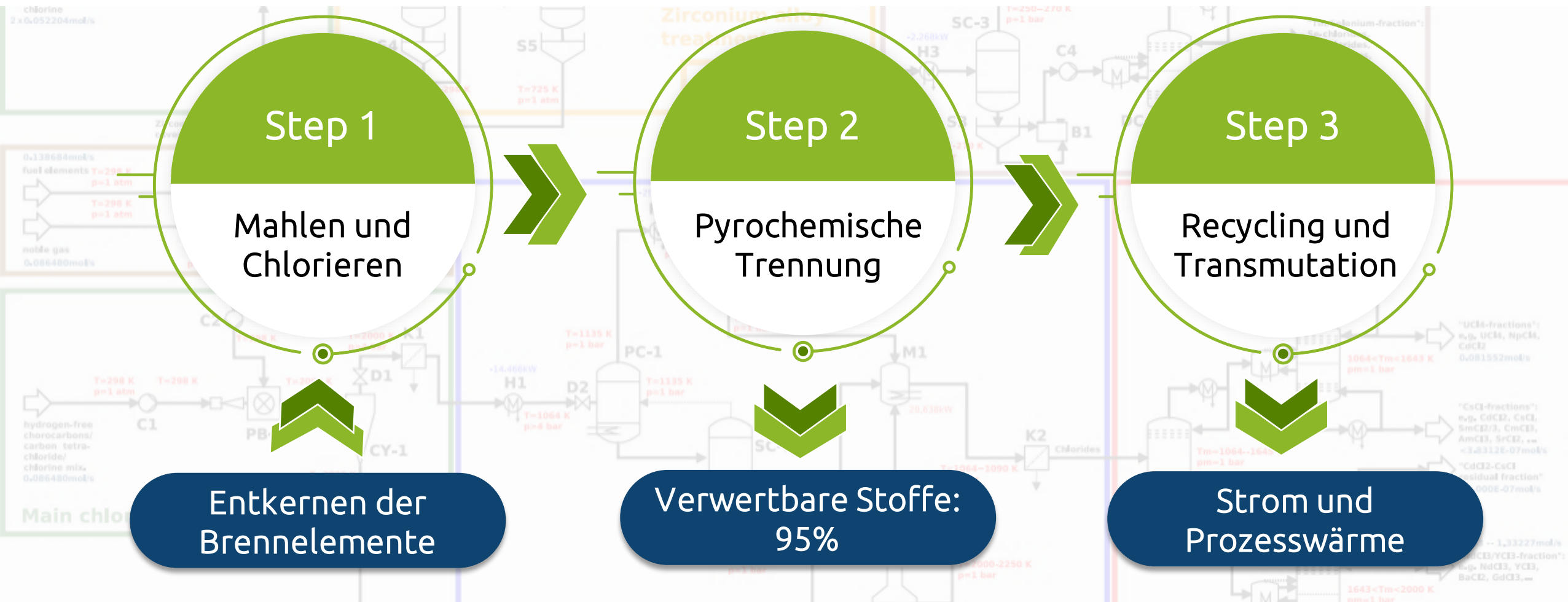
## Atommüll ist Wertstoff

Die Dual Fluid Recycling-Anlage verwertet langlebige Reststoffe energetisch und/oder wandelt sie in überwiegend kurzlebige um.

## Lagerungsdauer: ~300 Jahre

Radiotoxizität der Reststoffe (Gesamtheit): nach ~300 Jahren auf dem Niveau von Natururan

# Recycling mit Dual Fluid

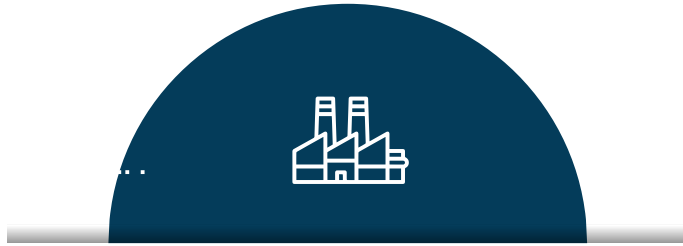


Source: NUDEST study 2019, <https://festkoerper-kernphysik.de/nudest>

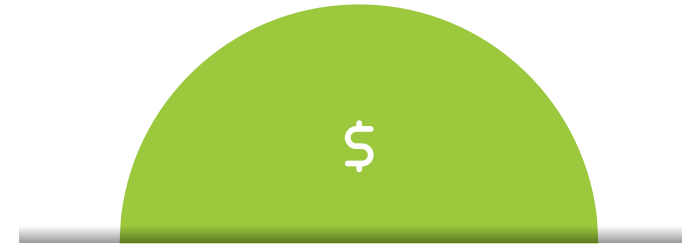


# Welche Materialien halten stand?

## Brennstoff und Blei bei 1000° C



Andere Industrien:  
bewährte antikorrosive  
Materialien vorhanden



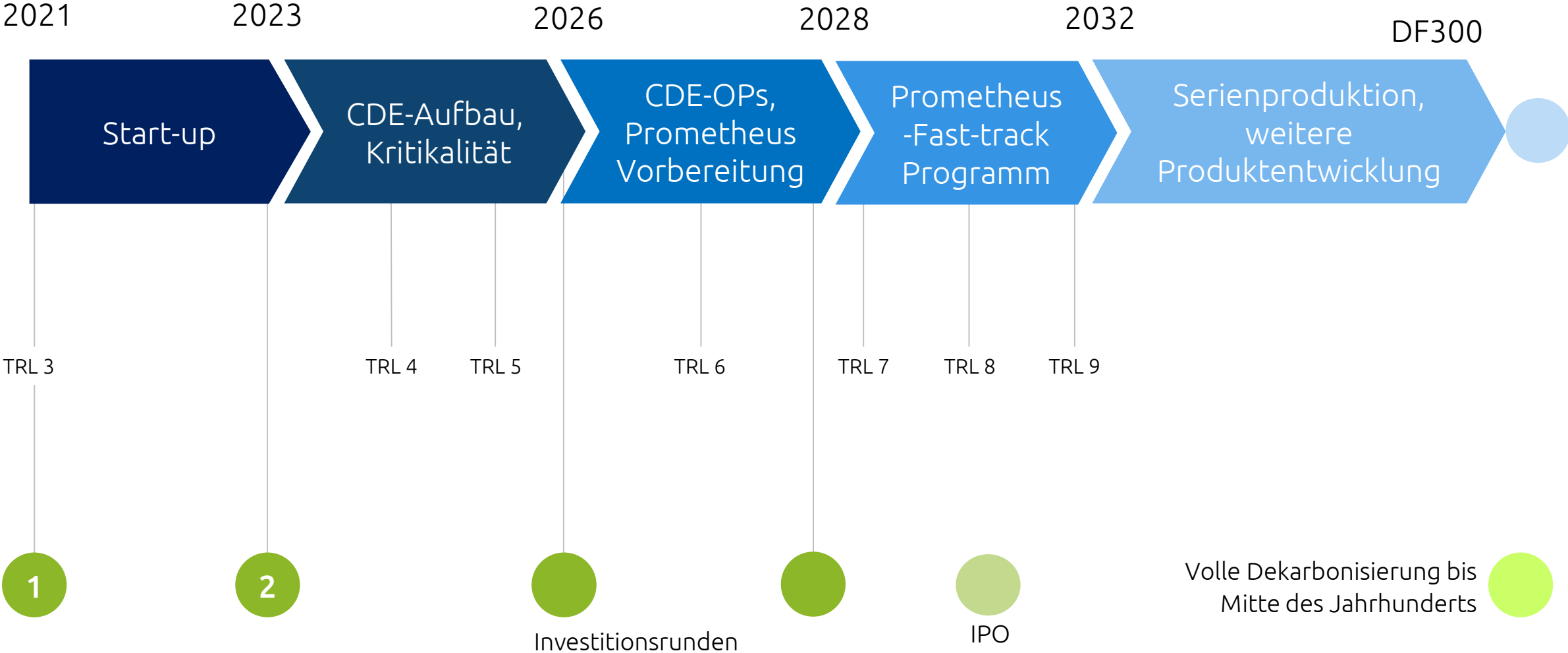
Reduzierter Material-  
aufwand bei Dual Fluid:  
**teure** Materialien möglich

**Möglichkeiten:** Refraktärmetall-Legierungen und Keramiken

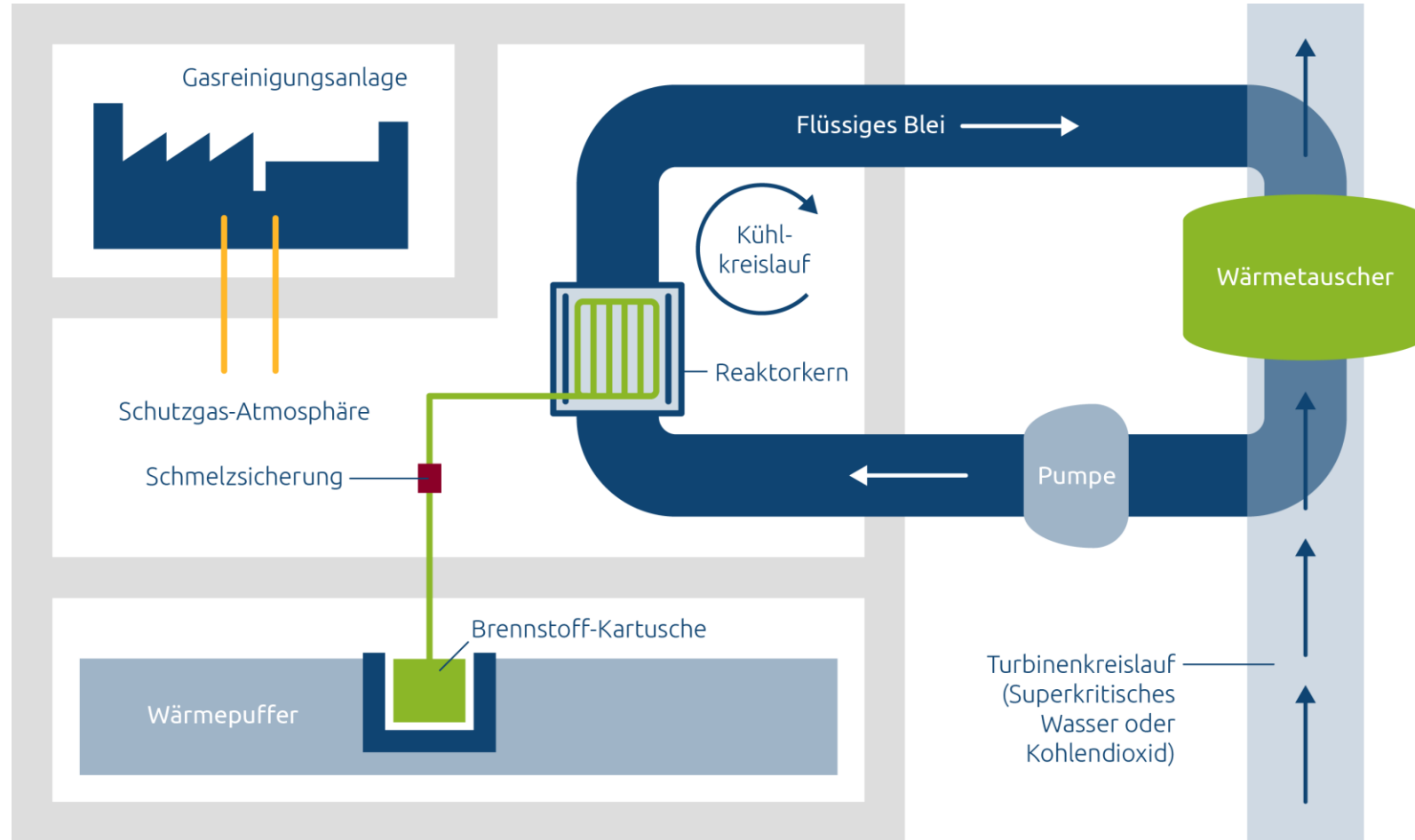
1 Siliciumcarbid (SiC)

2 Zirconiumcarbid (ZrC)

# Serienreif innerhalb eines Jahrzehnts



# DF300-Kraftwerk (SMR)



Kraftstoffwechselintervalle ca. 25 Jahre

Kern und Brennstoffkartusche austauschbar

Abbrand bis zu 200 MWd/kg<sub>HM</sub>

Kombination mit externer Recyclinganlage

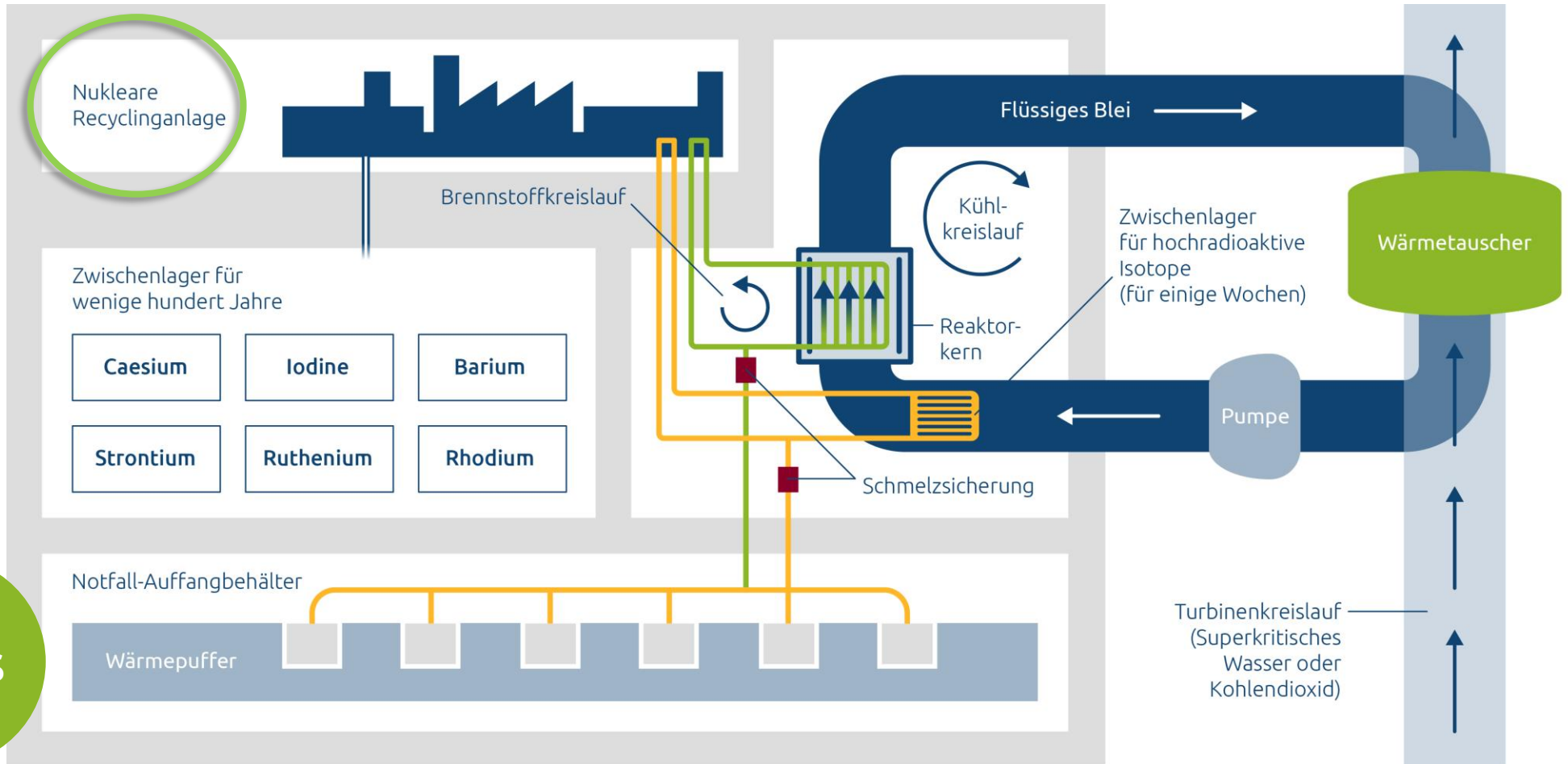
Elektrizitätserzeugung mit 50% Wirkungsgrad, z.B. mit überkritischen Medien (scH<sub>2</sub>O, scCO<sub>2</sub>)

# Kraftwerk DF1500: Schließt den Brennstoffkreislauf

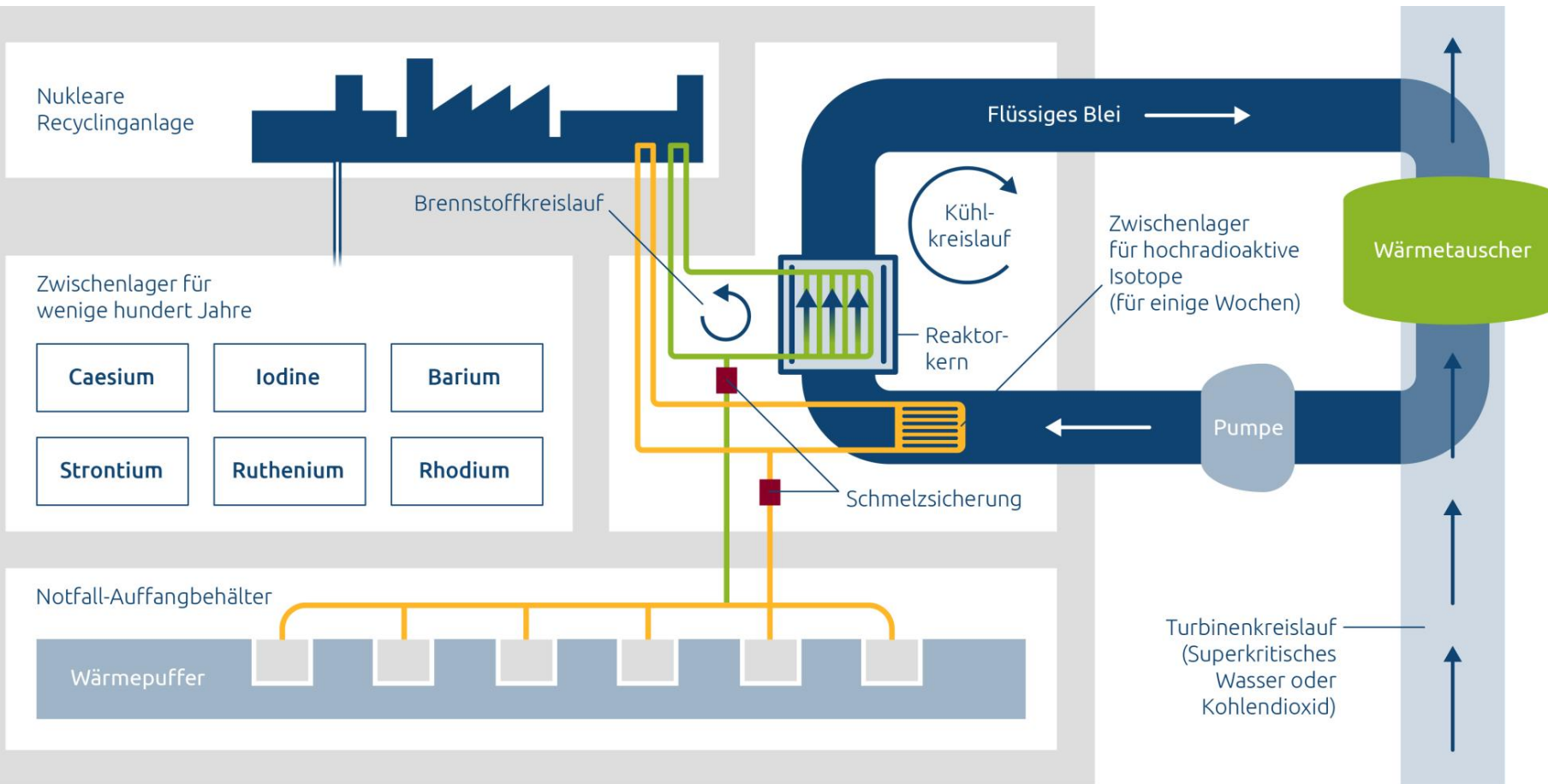
- Natürliches Uran
  - Abgereichertes Uran
  - Thorium
  - Gebrauchte Brennelemente
- 
- Spaltprodukte
  - Med. Radioisotope
  - Spaltbares Material



**GESCHLOSSENER  
BRENNSTOFFKREIS  
LAUF**



# Kraftwerk DF1500: Eigenschaften und Vorteile



- Lagerung von Spaltprodukten vor Ort > Toxizität unter Natururan nach einigen hundert Jahren
- Seltene Metalle nach einigen hundert Jahren rein verfügbar
- Stromerzeugung mit Wirkungsgrad > 50 %, z.B. mit überkritischen Medien (scH<sub>2</sub>O, scCO<sub>2</sub>)
- Prozesschemie bei 1000 °C

# Ausgewählte Veröffentlichungen

Jakub Sierchuła et al, Int J Energy Res. 43 (2020) 3691: "Determination of the liquid eutectic metal fuel Dual Fluid Reactor (DFRm) design - steady state calculations"

Dominik Böhm et al, Acta Physica Polonica B 51 (2020) 893: "Neue Methoden zur nuklearen Abfallbehandlung des Dual Fluid Reaktorkonzepts"

Chunyu Liu et al, Metals 10 (2020) 1065: "Thermohydraulische Analyse der Verteilungszone in einem kleinen modularen Zweistoffreaktor"

Daniel Weißbach et al, Int. J. Energy Res. (2020)1: "Dual Fluid Reactor as a long-term burner of actinides in spent nuclear fuel"

Sang-in Bak et al, The European Physical Journal Plus 134 (2019) 603: "Design of an accelerator-driven subcritical dual fluid reactor for transmutation of actinides"

Xiang Wang et al, Int J Energy Res. 42 (2018) 4313-4334: "Steady-state reactor physics of the dual fluid reactor concept"

Thomas J. Dolan: "Molten Salt Reactors and Thorium Energy", Woodhead Publishing, 2017

Xiang Wang, Dissertation 2017: "Analyse und Bewertung des Dual Fluid Reactor Konzepts"

Armin Huke et al, Annals of Nuclear Energy 80 (2015) 225: "The Dual Fluid Reactor - A novel concept for a fast nuclear reactor of high efficiency",

Daniel Weißbach et al, Energie 52 (2013) 210: "Energieintensitäten, EROIs und Energierücklaufzeiten von Kraftwerken"

Armin Huke et al, Konferenzpapier von der 19. Pacific Basin Nuclear conference (PBNC 2014), Vancouver: "The Dual Fluid Reactor - A New Concept For A Highly Effective Fast Reactor."

Jan-Christian Lewitz et al, atw 65 (2020) 145: "Der Dual Fluid Reactor - Ein innovatives schnelles Kernreaktorkonzept mit hohem Wirkungsgrad und Gesamtabbrand"