



# State of the Art Nuclear Power II (HTR)

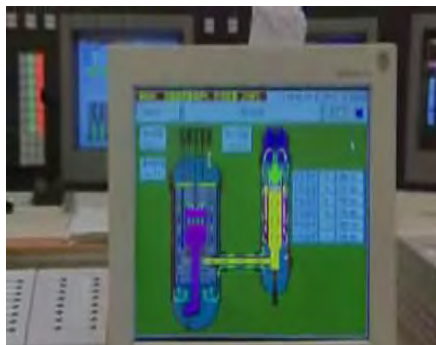
Jochen Michels

*Desalination Powered by Nuclear Energy*

*12. April 2018  
Essen*

---

# State of the Art of Nuclear Power HTR



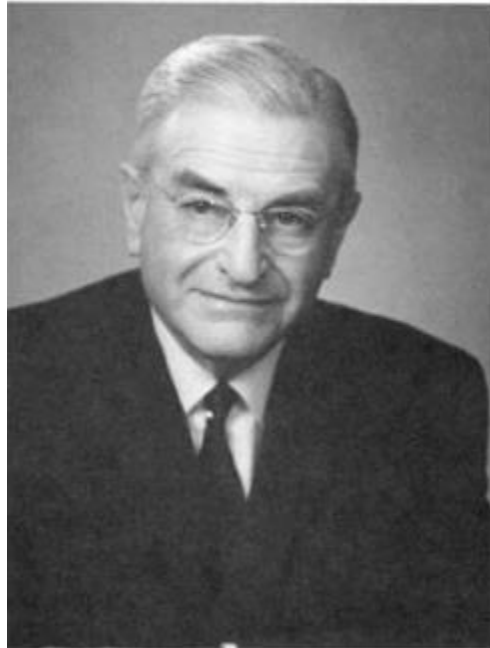
## HTR- 10    HTR-PM in China, Shidaowan



Ursprung Juelich



Demo Hamm-Uentrop



## Farrington Daniels - Rudolf Schulten

Hochtemperatur: oberhalb ca. 600 ° Celsius:  
-> viele HTR-Reaktoren und – Konzepte

**unser** Thema ist der:

### HTR mit kugelförmigen Brennelementen

- Grundsätzlich anderer Angang
- Mit den Gesetzen der Natur
- Entwickelt von Schulten mit BBC/Krupp und in der KFA Jülich bis 1988
- Erprobt in Hamm bis 1988

High temperature: above 600 °C Celsius:  
many HTR reactors and concepts

our topic is:

HTR with spherical fuel elements

- Basically other approach
- With the laws of nature
- Developed by Schulten with BBC/Krupp and in KFA Jülich until 1988
- Tested in Hamm until 1988

## Warum: HTR – Kugelbett– Technik ?

Sicherheit – **nicht durch techn. Massnahmen**, sondern:

- Physikalische Gesetze (Neutronen-Einfang)
- Bautechnik – grosses Zeitfenster
- Brennstoff – Thorium mit wenig Uran
- Ofen – nicht Meiler
- Kugeln – statt Prismen, Stäbe, Pellets
- Proliferation – kein Pu, uninteressant für Terror
- Kosten – Sicherheitstechnik **nicht erforderlich**
- Nachteil – geringere Energiedichte

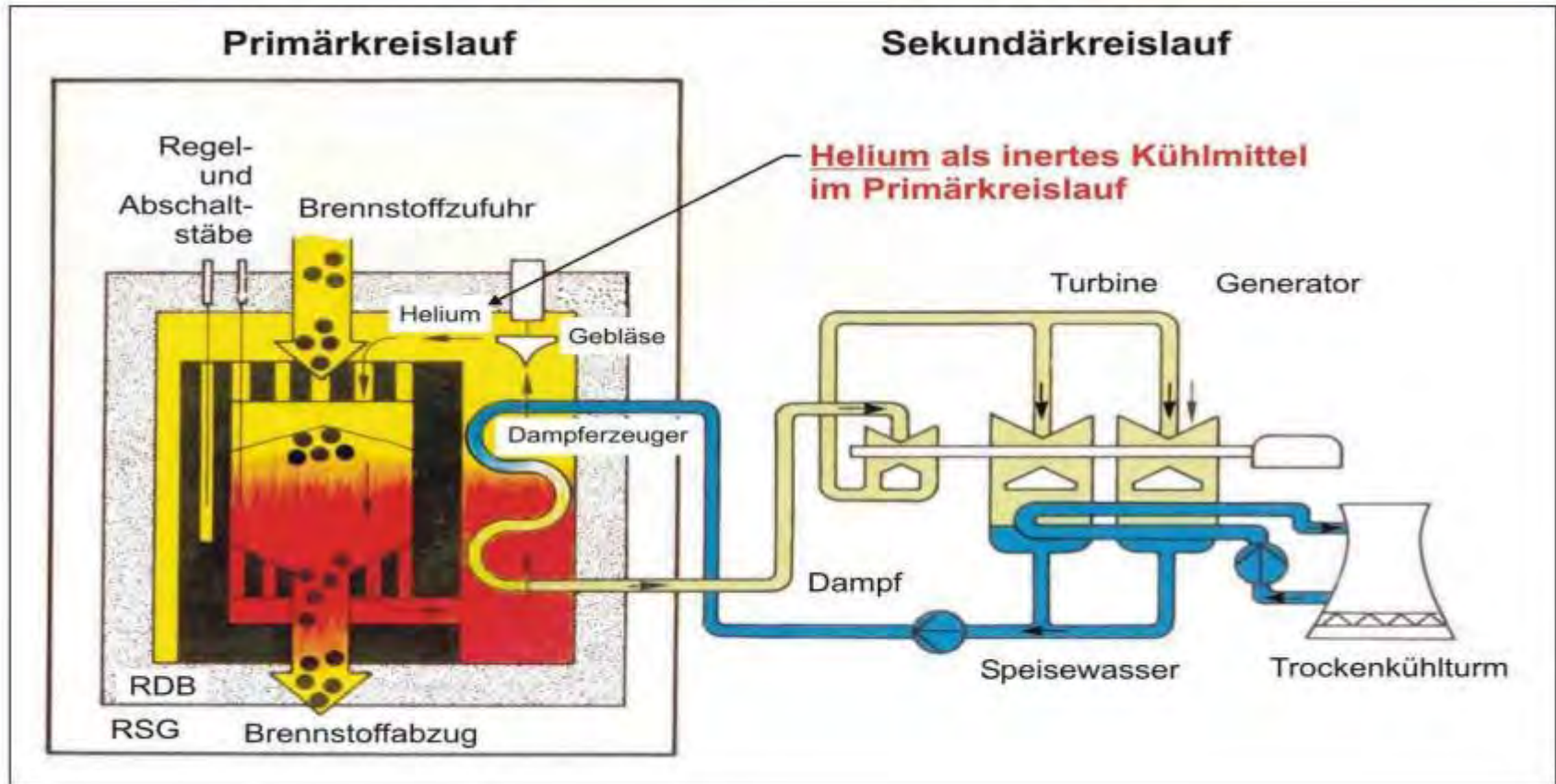
## Why: HTR - pebble bed technology?

- Safety - not by technical measures, but:
- Physical laws (neutron capture)
- Building technology - large time window
- fuel - thorium with little uranium
- Oven - not kiln
- pebbles - instead of prisms, rods, pellets
- Proliferation - no Pu, useless for terrorists
- Costs - Safety technology not required

Disadvantage - lower energy density



# HTR-Prinzip



Q: von Lensa



## Wo: HTR – Kugelbett – Technik?

In Deutschland: Atomausstieg total

(Merkel 2012 – Röttgen 2011 – Altmeier 2013 )

In Südafrika: eingestellt wegen Konzeptfehler/Finanzen

In anderen Ländern: nur Diskussionen, nichts konkret

In USA jetzt : X-Energy (privat-Unternehmen)

In China Teil I:

1. gelernt in Jülich und Karlsruhe ab ca. 1960
2. testen in Tsinghua-Universität, Planung für Demo-R
3. innehalten nach Fukushima, gründliche Diskussion
4. 2012 Weiterbau – Beton ab Dez. 2012

Where: HTR - Ball bed technology?

In Germany: Total nuclear phase-out

(Merkel 2012 - Röttgen 2011 - Altmeier 2013)

In South Africa: discontinued due to concept errors /  
finances

In other countries: only discussions, nothing concrete

In USA now: X-Energy (private company)

In China Part I:

1. learned in Jülich and Karlsruhe starting around 1960
2. testing in Tsinghua University, planning for Demo-R
3. pause after Fukushima, thorough discussion
4. 2012 Continued - concrete pouring from Dec. 2012

## Wo: HTR – Kugelbett – Technik?

In China Teil II:

5. 2 Module à 100 MWel - eine Turbine = 200 MWel
6. Ans Netz: urspr. Ende 2017 jetzt geplant E 2018

In China Teil III. – Multi-Modul 600,800 usw:

7. Chancen für deutsche Unternehmen und Fachleute
  - Zulieferung, Präzision, Erfahrung, Qualität
  - Grafit von SGL Carbon China
  - Vorgehensweise, Kultur, Ethik

Where: HTR - Pebble bed technology?

In China Part II:

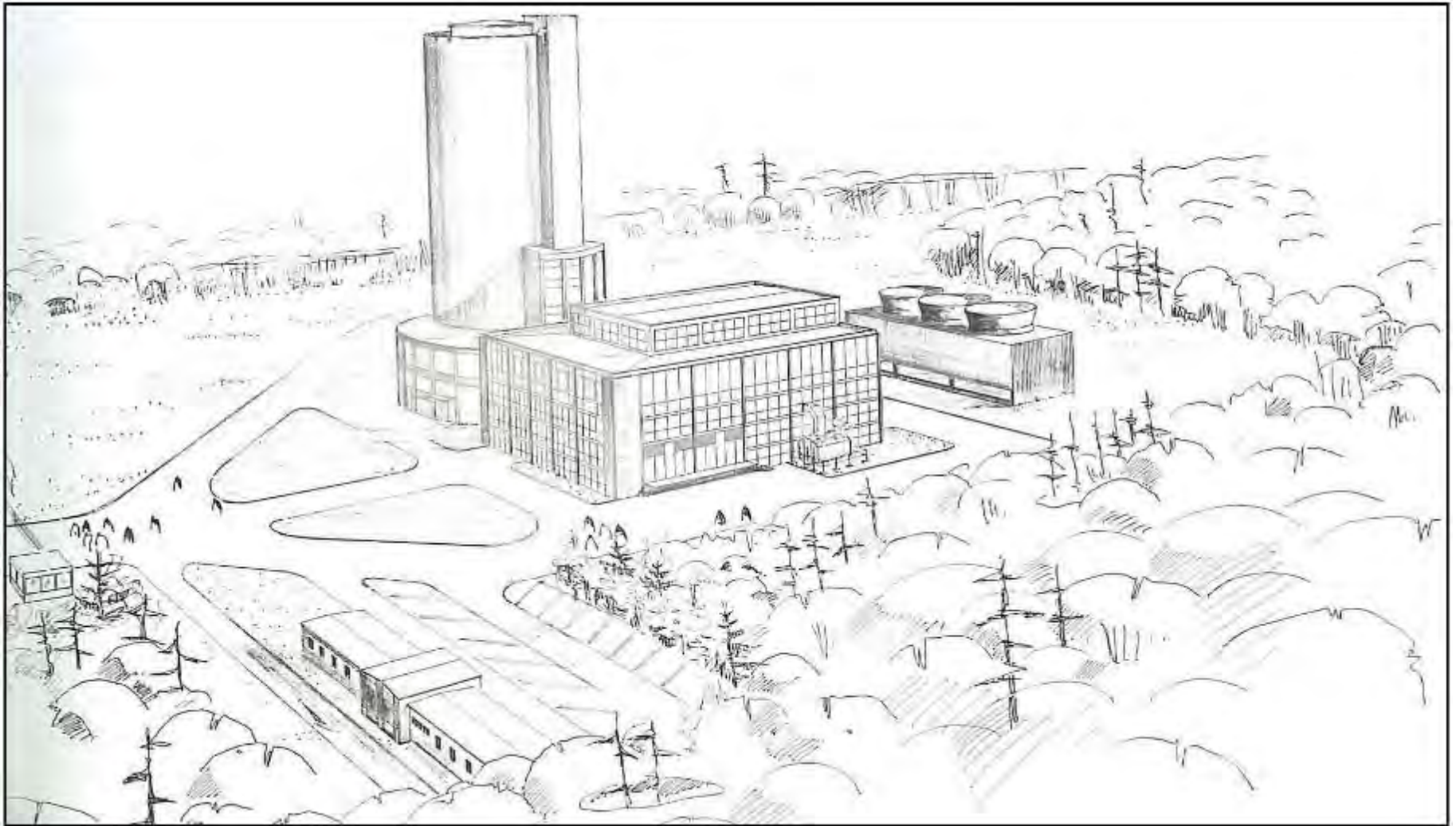
5. 2 modules of 100 MWe1 - one turbine = 200 MWe1

6. to grid: originally planned end of 2017 now E 2018

In China Part III - Multi-Module 600,800 etc:

7. opportunities for German companies and experts

- supply, precision, experience, quality
- Graphite from SGL Carbon China
- Approach, culture, ethics
- tennis ball size, graphite coat
- Inside up to 20,000 coated particles 0.5 mm



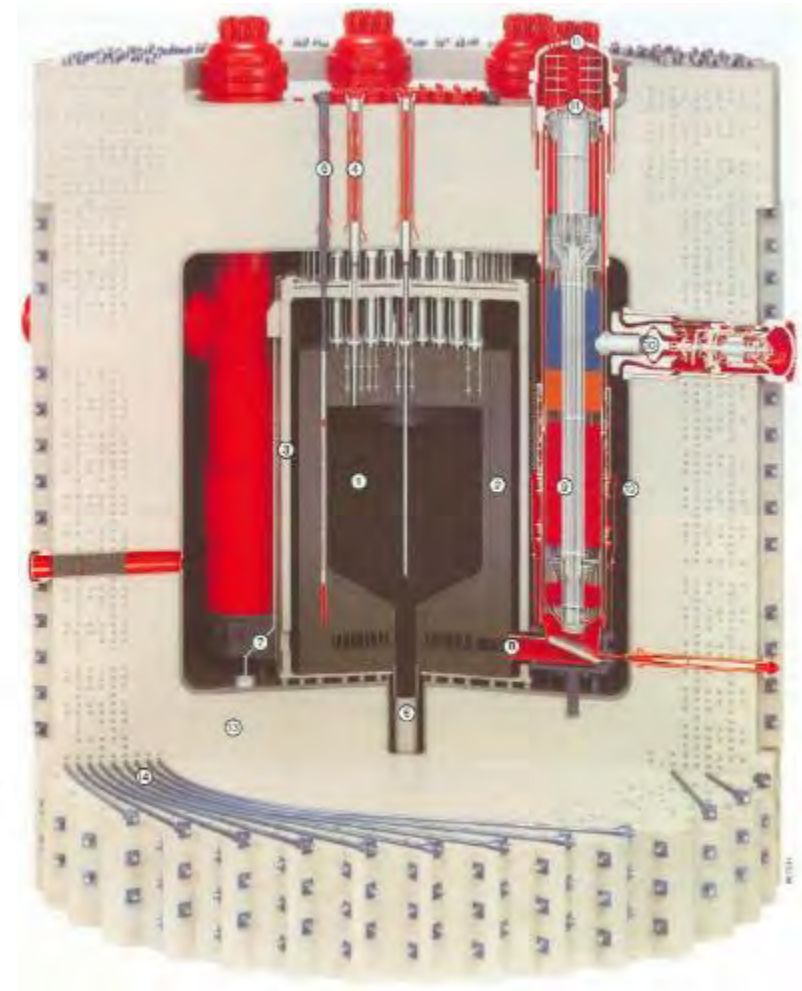
Q: 50 Jahre AVR, Seite 33



THTR 300  
Hamm-Uentrop

Q: Dr. G. Dietrich

- ① *Reactor core*
- ② *Graphite reflector*
- ③ *Thermal shield*
- ④ *Incore rod*
- ⑤ *Reflector rod*
- ⑥ *Fuel element discharge pipe*
- ⑦ *Fuel element loading tube*
- ⑧ *Hot gas duct*
- ⑨ *Steam generator*
- ⑩ *Coolant gas circulator*
- ⑪ *Vessel closure*
- ⑫ *Liner*
- ⑬ *Prestressed concrete reactor vessel*
- ⑭ *Prestressing cables*



Q: Dr. G. Dietrich



## Brennelemente:

- Tennisball, Grafitmantel
- Darinnen bis zu 20.000 coated particles 0,5 mm
- In Jülich wurden Dutzende Mischungen von Uran (hoch, nied.-anger.) und Thorium mit unterschiedlichen coatings aus Silizium- Karbiden und Pyrokohlenstoff ausprobiert.



- In Jülich dozens of mixtures of uranium (high, low and orange) and thorium with different coatings of silicon carbides and pyrocarbon were tested.

Fuel element THTR: Biso :U-ThO<sub>2</sub>

0,96 g <sup>235</sup>U

0,07 g <sup>238</sup>U

10,20 g <sup>232</sup>Th

192 g carbon

~ 30.000 coated particles

Pyrocarbon layers

(the first serves as buffer only)

Kernel d = 400 μm g = 9,86 g/cm<sup>3</sup>

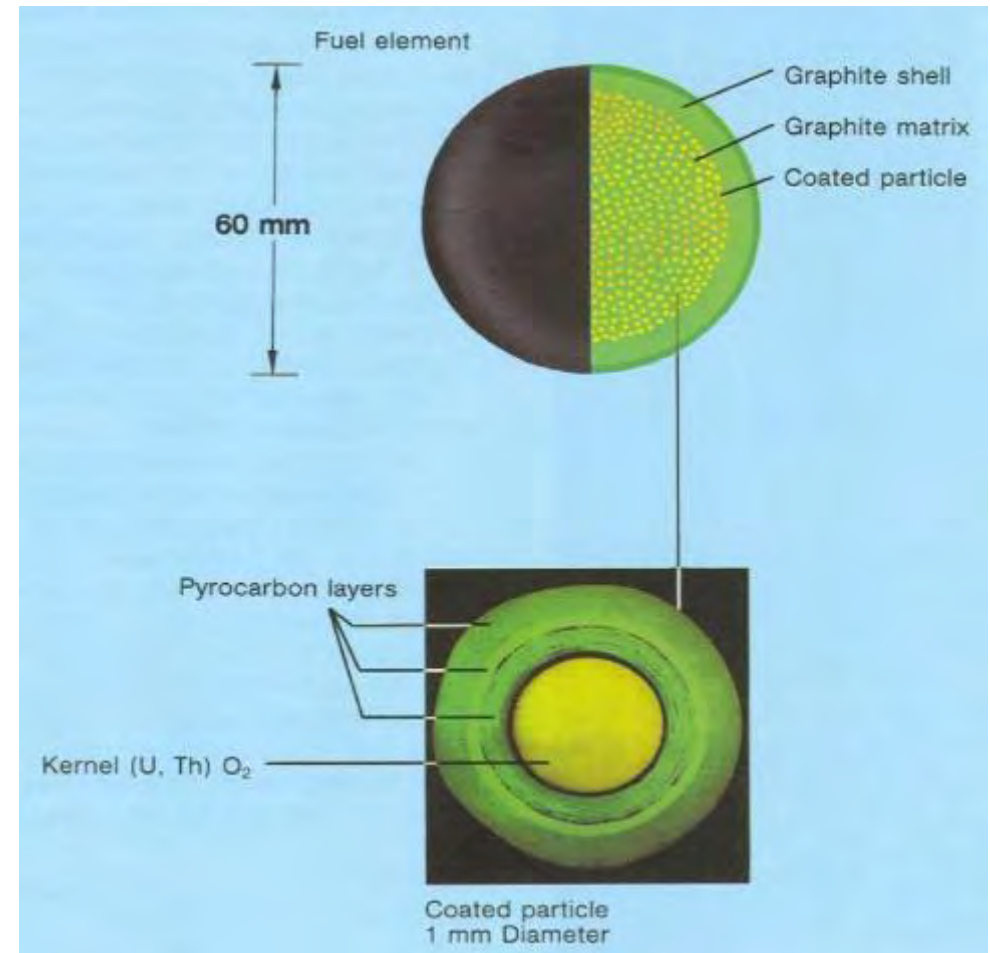
1st layer d1= 80 μm g= 1,1 g/cm<sup>3</sup>

2nd layer d2= 30 μm g = 1,6 g/cm<sup>3</sup>

3rd layer d3= 80 μm g= 1,85 g/cm<sup>3</sup>

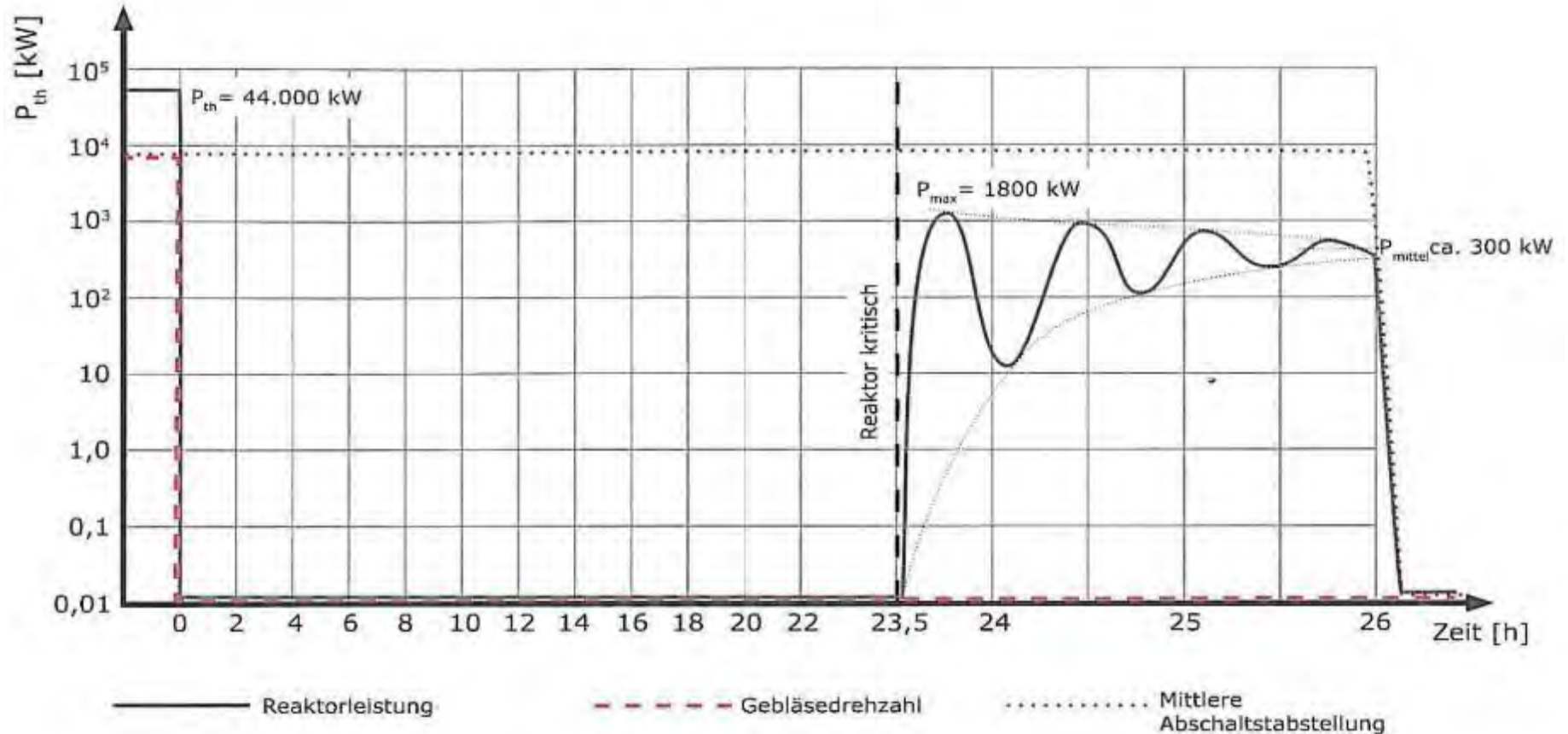
Burn up: 110.000 MWd/t

11,4 % fima



Q: Dr. G. Dietrich

# Vier-Stab-Klemmversuch im AVR



Q: 50 Jahre AVR, Seite 43, Sept. 1970

# „Sicherer Einschluss“ des THTR 300



Q: Dr. G. Dietrich

## In Chinas Nuclear Insel (Shidaowan):

neben dem HTR mit Kugelbett-Technik sind Dutzende anderer –  
PWR, LWR – Reaktoren

- in Betrieb, im Bau, in Planung
- Französische, Kanadische, Englische, Koreanische, Russische und andere Konzepte
- Interessante fuel cycle Lösungen (lt. WNA)

- **Unser Fokus: der pebble bed HTR - PM**

In China's Nuclear Island (Shidaowan):

aside the HTR with pebble bed technology: dozens of other - PWR, LWR - reactors are

- in operation, under construction, in planning
- French, Canadian, English, Korean, Russian and other concepts
- Interesting fuel cycle solutions (according to WNA)
- Our focus: the pebble bed HTR - PM

## Beginn in den 70-er Jahren.

2000 Test-Reaktor HTR-10 Tsinghua-Uni

2003 erster Strom

2006 Demo-Konsortium CNEC/ C. Huaneng

2012 Fortsetzung Bau in Shidao Bay.(1.Beton)

2015 Beton: 43 m über, 10 m unter der Erde

2016 Druckbehälter eingefahren

2017 Einbauten, Kugeln,

2018 Netzanschluss, geplant 40 J. Laufzeit

Beginning in the 70s.

2000 Test reactor HTR-10 Tsinghua-Uni

2003 First electricity

2006 CNEC/ C demo consortium. Huaneng

2012 Continuation construction in Shidao Bay.(1<sup>st</sup>  
Concrete)

2015 Concrete: 43 m above ground, 10 m below ground

2016 Pressure vessel retracted

2017 Fixtures, pebbles,

2018 Grid connection, planned 40 years operations



## Ziele des Demo-Reaktors

- technische Klärung für industrielle Verbreitung
- hochleistende Brennelemente,
- Winterbau für grosse Betonplatte,
- größtes chin. Schmiede-Produkt: Bodenkalotte.
- Elektromagnetische Lager für Heliumkreislauf 100 Stunden Test.
- Dampferzeuger in Spiralrohr-Technik

**Als FOAK nicht Massstab für Modularprinzip**

first of a kind

## Objectives of the demo reactor

- technical clarification for industrial distribution
- high performance fuel elements,
- Winter construction for large concrete slab,
- biggest chin. forging product: bottom shell.
- Electromagnetic bearings for helium circuit, 100 hours test.
- Steam generator in spiral tube technology

As FOAK not the benchmark for modular principle

# High Temperature Gas-cooled Reactor

- Vorteile:
  - Bei allen denkbaren Unfallsituationen muss der Reaktor sicher bleiben ohne jede menschliche oder maschinelle Einwirkung
  - Hoher Wirkungsgrad
  - kurze Bauzeit
  - Einfaches System




# Confinement of Radioactive Materials

- No of CP:  $4 \times 10^5$  FE,  $4 \times 10^9$  CP
- Failure rate in manufacture and operation  $< 10^{-4}$
- No likelihood of massive failure in accidents
- SiC can resist intrusion of external water and air



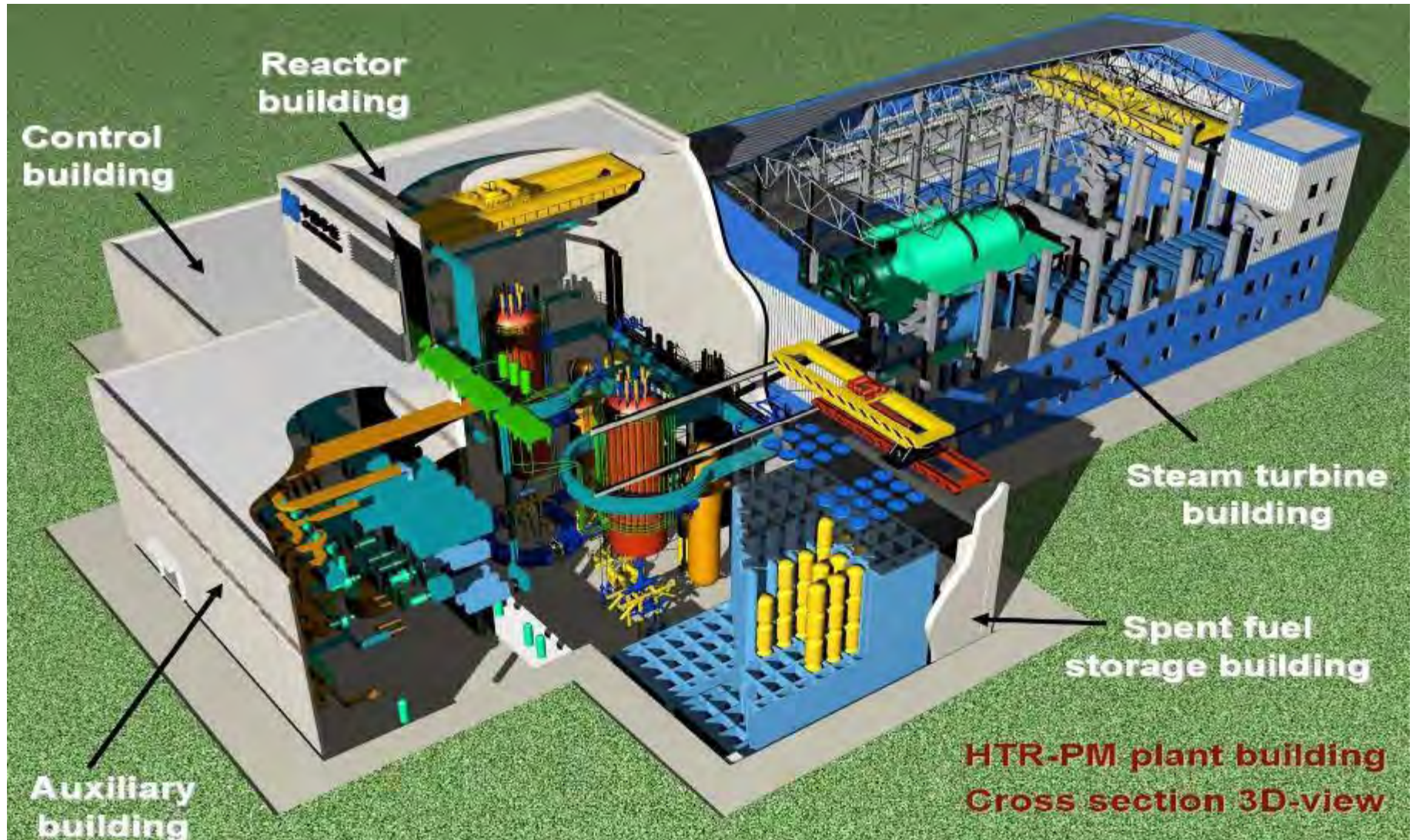
## HTR-PM, 200 MWe, ShidaoBay, China

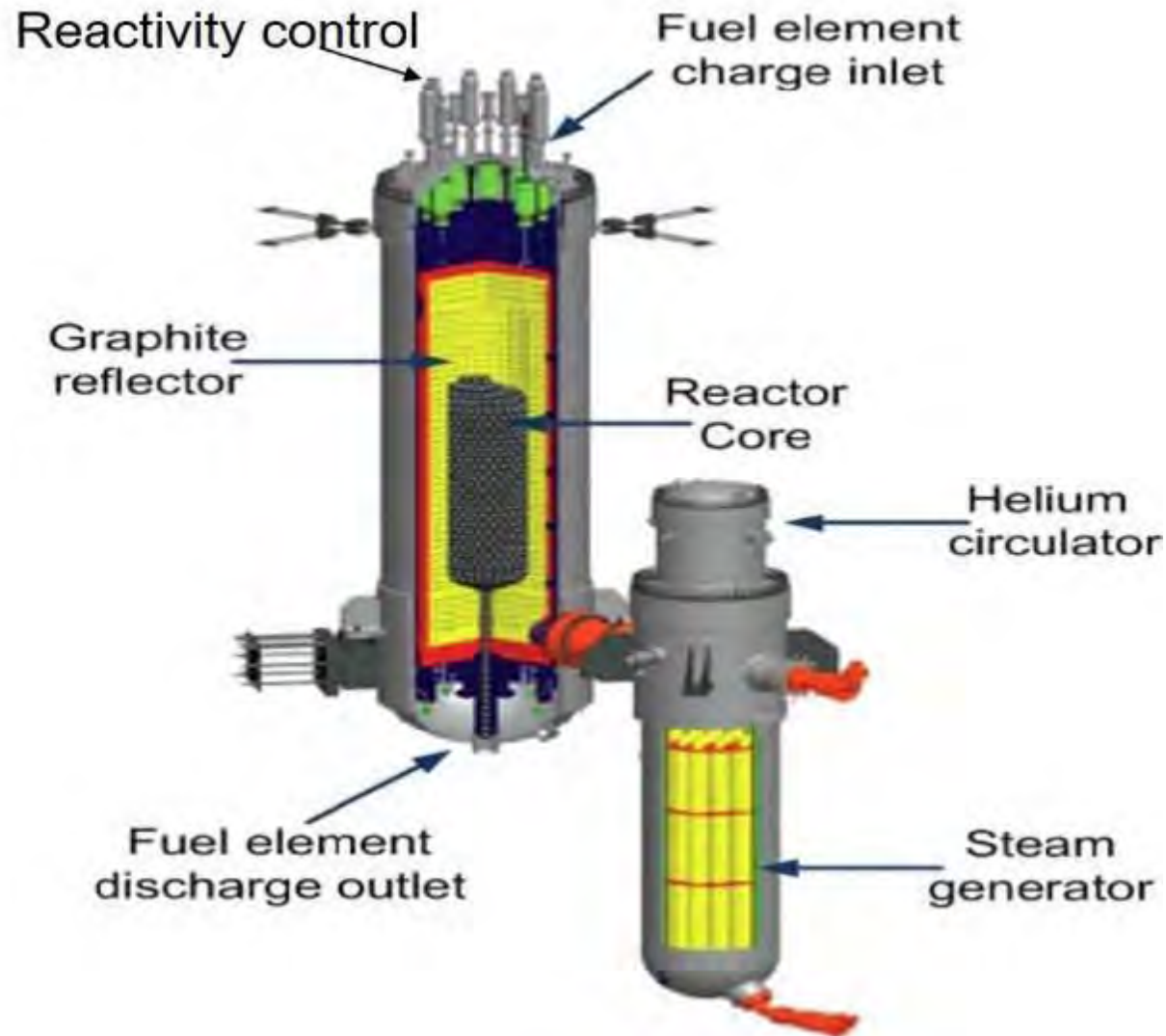


|                          |                   |  |
|--------------------------|-------------------|--|
| • Electrical power       | Mwe               | 211  |
| • Core thermal power     | MWth              | 250 each   |
| • Number NucSteamSuppSys | Modules           | 2  |
| • Corebauform / Mat.     |                   | Zylinder, Stahl                                      |
| • Corehöhe               | m                 | 11   |
| • Coredurchmesser        | m                 | 3 (Vol=63,59 M <sup>3</sup> >3,3 MW/m <sup>3</sup> ) |
| • He-Druck               | MPa               | 7  |
| • He-Temperatur ein      | °C                | 250  |
| • He-Temperaturaus       | °C                | 750  |
| • BE-Anreicherung        | % U-235           | 8,5  |
| • Dampfdruck             | Mpa               | 13,24  |
| • Dampftemperatur        | °C                | 567  |
| • Leistungsdichte        | MW/m <sup>3</sup> | 3,3 (Power density)                                  |
| • Heliumfließrichtung    |                   | Down   |
| • Anzahl BE (UCO Triso)  |                   | 217.800  |
| • BE-Abbrand             | MWd/tHM           | 163.000  |

## HTR-PM, 200 MWe, ShidaoBay, China

- Electrical Power MWe 211
- Core thermal power MWth 250 each
- Number NucSteasuppSys Modules 2
- Core design / Mat. Cylinder/ Steel
- Core height m 11
- core diameter m 3 (Vol=63.59 M3>3.3 MW/m3)
- He-pressure MPa 7
- He-temperature on °C 250
- He-temperature off °C 750
- BE enrichment % U-235 8.5
- Steam pressure Mpa 13,24
- Steam temperature °C 567
- power density MW/m<sup>3</sup> 3.3 (Power density)
- Helium flow direction Down
- Number BE (UCO Triso) 217,800
- BE combustion MWd/tHM 163,000

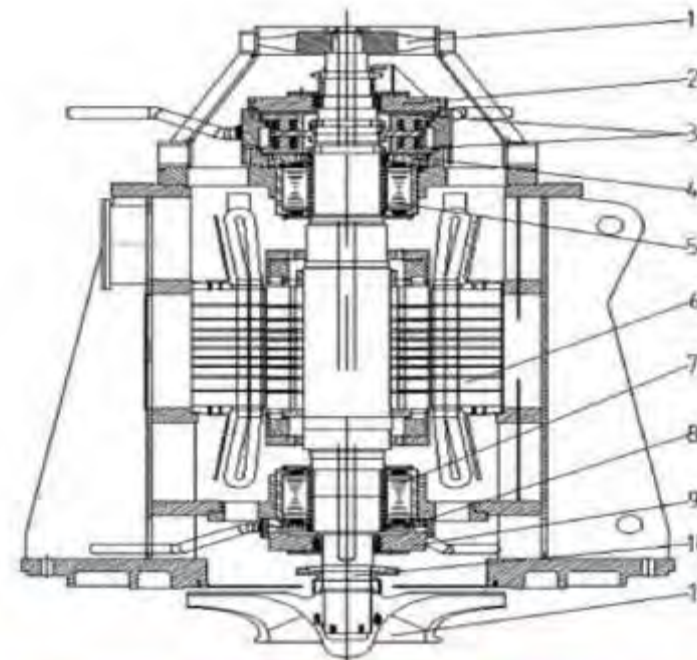






## Blower Design

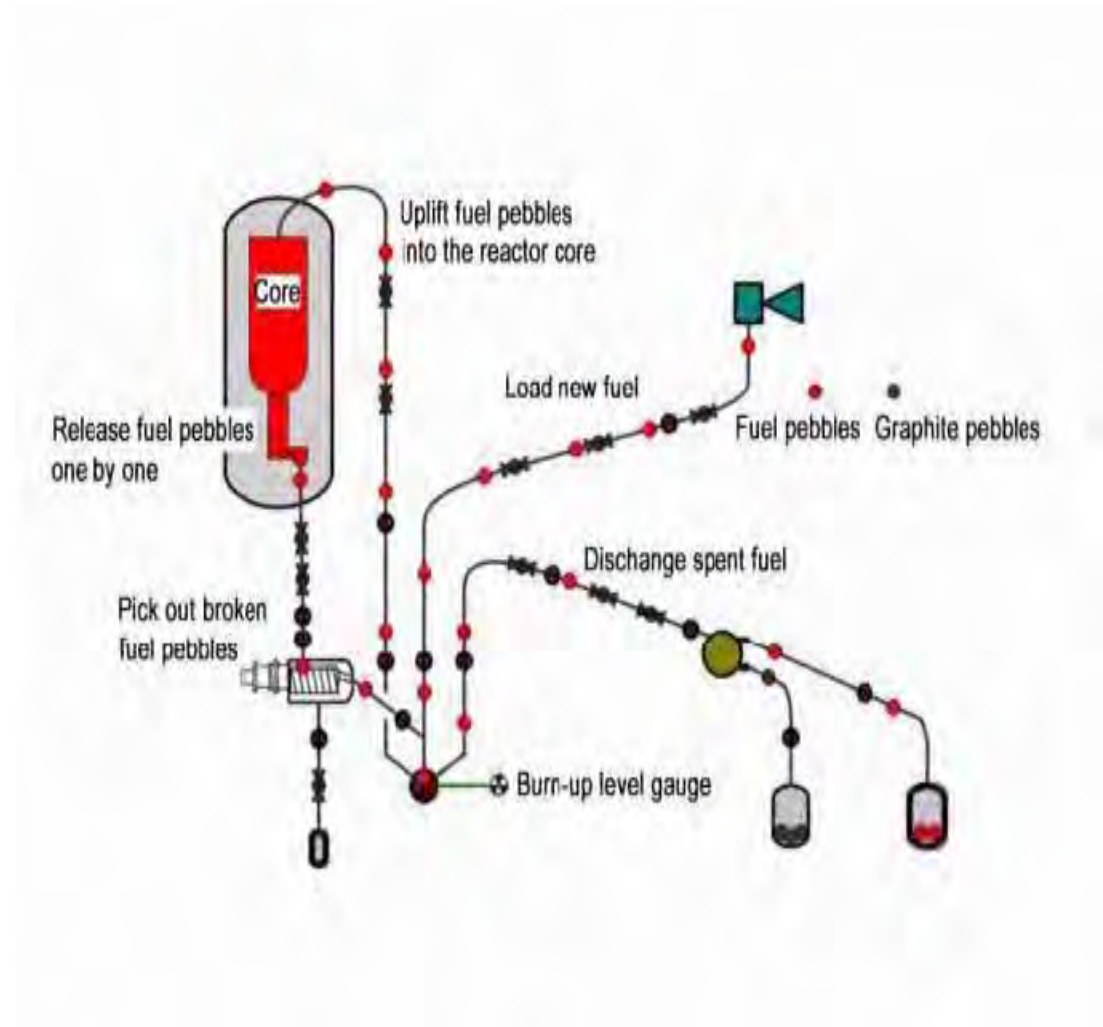
- Internal, Vertical layout
- Driven by high speed, frequency control electrical motor
- Single stage, centrifugal impeller
- **Active magnetic bearing (AMB)**



| Parameter        | Unit | Value |
|------------------|------|-------|
| Pressure rise    | kPa  | 200   |
| Temp. of helium  | °C   | 250   |
| Rotation speed   | rpm  | 4,000 |
| Electrical power | kW   | 4,500 |

## Fuel Handling System

- Charge and discharge fuel elements on line
- Separating out the broken fuel elements
- Measure burn-up of fuel element and screening out spent fuel
- Transfer spent fuel elements to storage tank



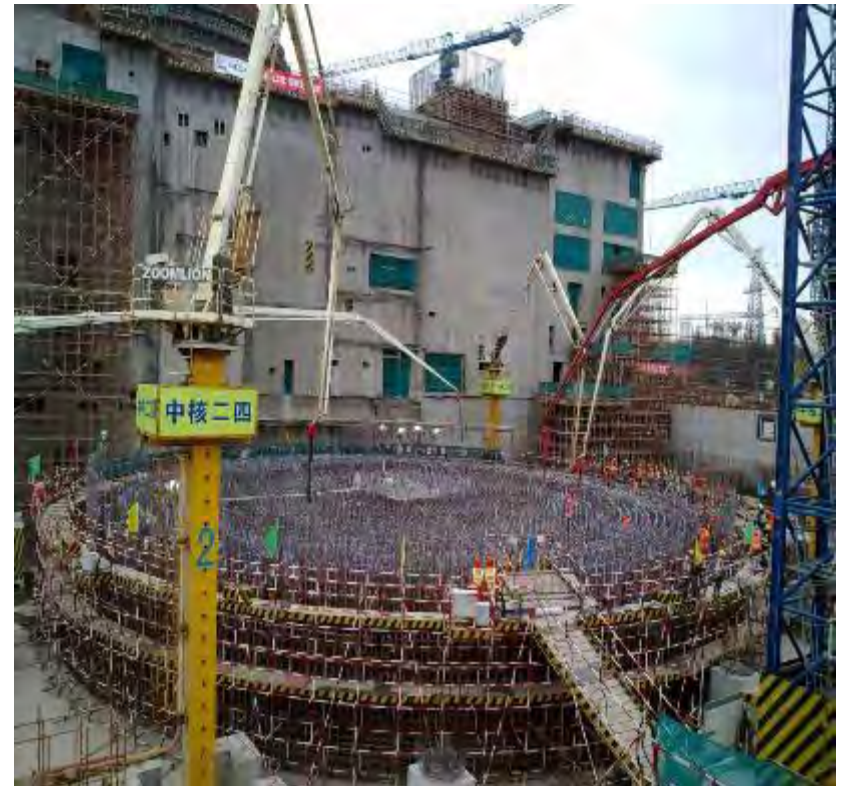
# High Temperature Gas-Cooled Reactor

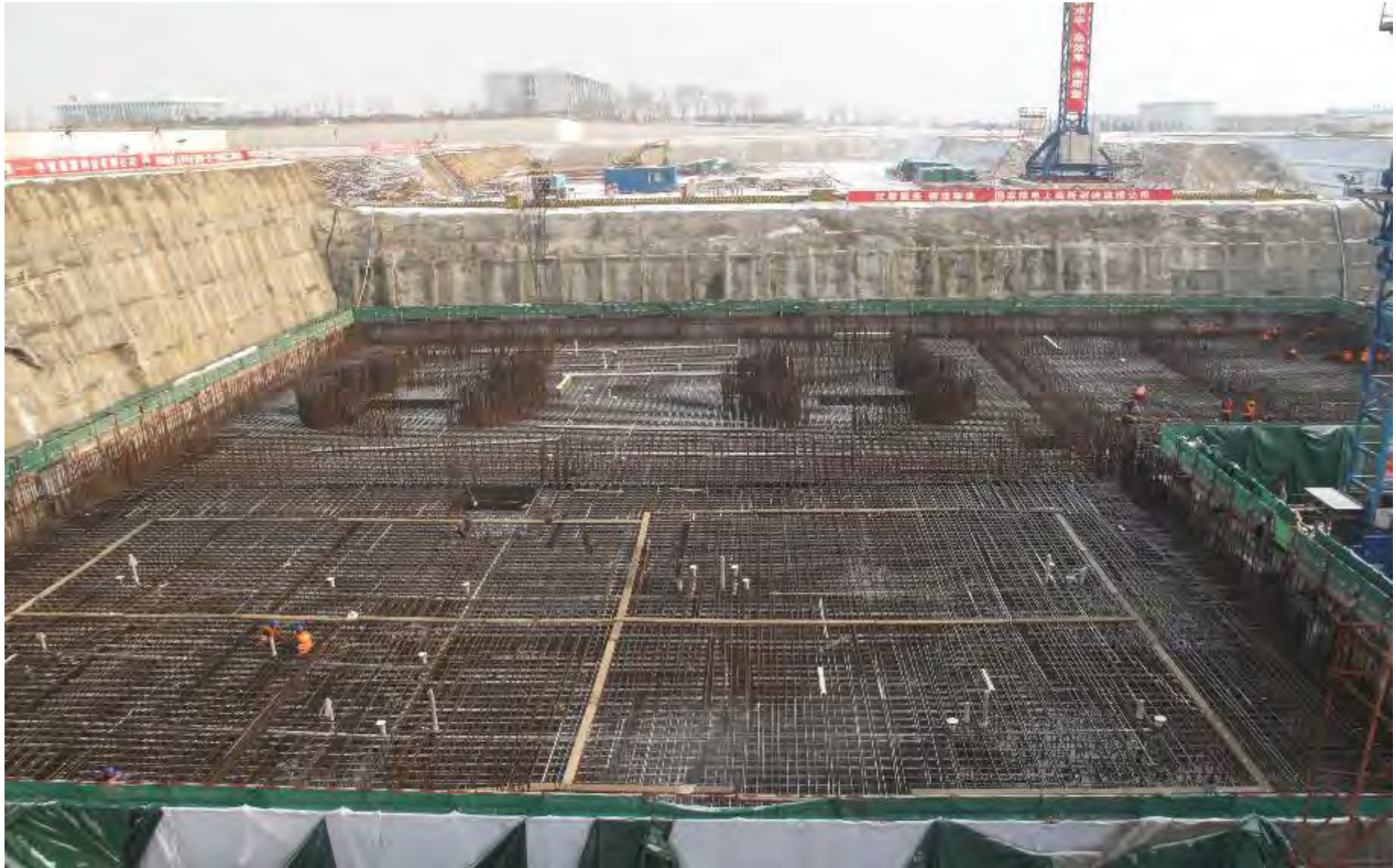
- Entwicklungsgeschichte:
  - Begonnen in den 1970ern
  - Tsinghua University entwarf und baute den HTR-10 MW Test Module mit Hilfe der China National Nuclear Corporation (CNNC) und begann Produktion Januar 7, 2003
  - 2006 haben Tsinghua University, China Nuclear Engineering Group Corporation (CNEC) und China Huaneng Group das Demo Projekt gemeinsam finanziert
  - Dezember 9, 2012, begann der Bau des Shandong Rongcheng Shidao Bay HTR demonstration project



# High Temperature Gas-Cooled Reactor

- Development history:
  - Am 20. April 2015, war der Rohbau der Fundamente fertig und die intensive Phase der Equipment Installation begann
  - Am 24. Juni 2015, stellte die Shidao Bay Nuclear Power Projektleitung die Betongussarbeiten für die Wände des Gebäudes fertig
  - Drei Tage später war die Bedachung (capping) fertig




















 微信号: hsnpc\_wx















## einige Unterschiede

- D: Spannbeton-Druckbehälter - Monocoque.
- CN: Stahl-Druckbehälter - mehrere Module
- 
- D: grosser Kugelraum - Ring
- CN: kleiner Kugelraum - Säule
  
- D: ein Reaktor, eine Turbine
- CN: mehrere Module, eine gemeinsame Turbine

some differences

- D: Prestressed Concrete Pressure Vessel - Monocoque.  
CN: steel pressure vessel - several modules

D: large pebble space - ring

CN: small pebble chamber - column

•

D: one reactor, one turbine

CN: several modules, one common turbine

# Trilogie „Biokernsprit“

-----

# „Energiewende- der Kugelbett- Ofen“



Jederzeit **aktuell** auf  
**www.no-meltdown.eu**  
und  
**www.biokernsprit.org**

**Sponsoring bitte mit:**


**<https://www.kickstarter.com/projects/no-meltdown/biokernsprit-und-no-meltdown>**



**Danke für Ihre  
Aufmerksamkeit !**

**jochen.michels@jomi1.com**

## **Nicht-exklusives Copyright**



Mit der Annahme Ihres Fachbeitrags erwirbt DME auch das nicht-exklusive Copyright, insbesondere bezüglich der Veröffentlichung in den Seminar - Unterlagen. Die Veröffentlichung Ihres Fachbeitrags, auch auszugsweise, an anderer Stelle ist Ihnen freigestellt, wobei wir erwarten, dass Sie darauf hinweisen, dass es sich um einen Fachbeitrag des DME Seminars S-003-2018 in Essen handelt.

Evtl. entstehende Kosten für Nachdrucke aufgrund kurzfristig geänderter Präsentationen gehen zu Lasten des Verursachers.

## **Non-exclusive Copyright**

By receiving your presentation DME acquires the non-exclusive copyright, especially in view of publishing it in the seminar documentation. You are free in publishing your presentation – even part of it – elsewhere, but we expect that you mention that this presentation has been held on the DME Seminar S-003-2018 in Essen.

In case costs for reprinting will arise due to shortly changed presentations the costs have to be taken over by the perpetrator.