

An:

Geschaeftsstelle

Betreff:

Bürger/innen-Anhörung Standortauswahlgesetz,

Datum:

Donnerstag, 19. Januar 2017 18:00:05

Sehr verehrte Frau Schreuers,  
Sehr geehrter Herr Prof. Dr. Töpfer,

von der KTG erhielt ich die Einladung zu obigem Bürgergespräch. Leider kann ich nicht kommen, da ich auf einer Auslandsreise sein werde.

Zum Thema selbst hätte ich gerne zu den Endlagerfragen der strahlenden Rückstände aus Hochtemperatur-Kernkraftwerken gesprochen.

Hierzu im Anhang folgende Beiträge von mir:

- Vortrag auf dem internationalen Kernkraftwerkongress ICAPP in Nizza, zusammen mit Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing.e.h. Klaus Knizia, leider verstorben, früher Vors. des Vostands der VEW AG und Prof. Dr.-ing. Kurt Kugeler, Mitglied der Akademie der Wissenschaften NRW, Mitglied der RSK, und Direktor und ord. Prof. für Kerntechnik der RWTH Aachen und KFA-Jülich.
- Mein Schreiben an Frau Prof. Schavan, die mich gebeten hatte, meine Erfahrungen mit der HTR-Technik zusammenzufassen;
- Da "Compact" eines Vortrags von mir, den ich auf Einladung der "The 7th World Hydrogen Technology Convention & Czech Hydrogen Days 2017" halten werde.
- Abbildung eines Kugel-Brennelementes; Der gecoatete Brennstoffkern hat eine dreifaches spaltproduktundurchlässiges "Containment";
- Lagerung der Brennelemente in Ahaus, ohne jegliche Strahlung oder erforderliche Kühlung; Dies könnten auch problemlos in einem Bunker im KKW Gelände auf Dauer gelagert werden;
- Deutscher GAU in Jülich und Hamm;

Bitte entnehmen Sie aus diesen Unterlagen, daß der von Prof. Dr. Schulzen entworfene Hochtemperaturreaktor mit Kugel-Brennelementen völlig anders konzipiert ist, als LWR-KKW. Die "Reststrahlenden" Komponenten des stillgelegten THTR-300 sind im sicheren Einschluß seit über 25 Jahren ohne jegliche Strahlungsgefährdung der Umgebung innerhalb des Spannbetondruckbehälters gelagert. Dieser hat einen Platzbedarf von etwa 1.500 m<sup>2</sup>. Alle Teile befinden sich noch innerhalb des Spannbetonbehälters mit einem Raumbedarf von ca. 1.000 m<sup>3</sup>.

Damit wird mit dieser Technik die Endlagerfrage schon mit dem Bau der Anlage gelöst. Dies ist in meinem Schreiben an das BMFT erläutert.  
Falls Sie Fragen haben, gerne beantworte ich Ihnen diese.

Mit freundlichen Grüßen  
Dr.-In.Urban Cleve

p.s. zur Ergänzung senden ich Ihnen nachfolgend noch eine mail.

**Dr.-Ing. Urban Cleve**



Frau  
Bundesministerin Prof. Dr. Annette Schavan  
Hannoversche Straße 28 – 30  
10115 Berlin

Betr.: Aktenzeichen: RS 13- 07023/II: „Kugelhaufenreaktortechnik“;  
Meine Schreiben vom 25.10.2010 und 16.02.2011;  
Referat 722 „Energie“.

Sehr verehrte Frau Bundesministerin!

Das KIT in Karlsruhe hatte auf Anregung Ihres Referates 722 in Bonn, dem meine beiden oben angeführten Schreiben vorlagen, zu einer informellen Besprechung am 21.12.2011 über die (V)HTR-Technik eingeladen. Ein geladen wurden seitens des KIT durch die Herren Dr. Pitterich und Dr. Ehrlich, die Herren Professoren Dr. Stieglitz, Dr. Cheng und Dr. Tromm aus Karlsruhe, ferner Prof. Dr. Kugeler, Mitglied in der Akademie der Wissenschaften in NRW und früher der RSK, Prof. Dr. Hurtado, Technische Universität Dresden, Herr Küppers, Leiter des Öko-Instituts Darmstadt und ich. Die Herren Hurtado und Küppers hatten ihre Teilnahme abgesagt.

Nach Begrüßung und Darlegung der Ziele der Besprechung durch Herrn Dr. Pitterich, gab Prof. Dr. Kugeler einen Überblick über die bisher betriebenen HTR- Anlagen. Danach erläuterte er die Phasen der sicherheitstechnischen Entwicklung der Kernenergie und trug erweiterte Grundsätze zur zukünftigen maximalen Sicherheit von Kernkraftwerken vor. Er stellte in seiner Ausarbeitung „Aspekte der VHTR-Entwicklung“ neben den bislang bekannten Forderungen für die LWR folgende zusätzliche Forderungen:

- Berstsicherer Primärkreiseinschluß, auch bei Terrorangriffen;

- Selbsttätige Nachwärmeverabfuhr;
- Coreauslegung unempfindlich gegen Reaktivitätsstörungen;
- Core unempfindlich gegen Lufteinbruch;
- „zero-emissions“-Konzept auch bei Störungen;

Nach eingehender Diskussion der Sicherheitsaspekte erläuterte ich unter Bezug auf meine Überlegungen, die in der Zeitschrift „Atomwirtschaft“ atw 12/2009 und atw 6/2011 veröffentlicht sind, die Konstruktion zukünftiger HTR-Kraftwerke. Diese habe ich auch bei den internationalen Konferenzen in Nizza im Mai und in Krakau im September 2011 so vorgetragen. Weiter habe ich dies in meinem Vortrag vor der ASM in Ludwigshafen am 30.11. „**Der Kugel-BE HT-Reaktor**“ zusammengefaßt. (Konzept in der Anlage).

In diesen Vorträgen ist im Detail erläutert und beschrieben, daß das von mir erarbeitet Konzept zukünftiger HTR-Anlagen alle vorgenannten Forderungen erfüllt. Es bestand Übereinstimmung in der Beurteilung, daß nur HTR-Kraftwerke mit kugelförmigen Brennelementen und einem Spannbetonbehälter diese Sicherheits-Anforderungen erfüllen können. Weiter habe ich eine Konstruktion in Vorschlag gebracht, die es ermöglicht, daß lediglich unbestrahlte BE, die keine Radioaktivität emittieren, in das Kraftwerksgelände gebracht werden. Alles was radioaktiv belastet sein könnte, verbleibt auf Dauer dort gelagert. Damit entfallen vor allem nukleare Transporte außerhalb der Anlage und das Endlagerproblem ist auf Dauer gelöst. Alle diese konstruktiven Maßnahmen sind in den vorgenannten Arbeiten im Detail beschrieben und nur mit einem Kugel-HTR erfüllbar. Es bestand die übereinstimmende Beurteilung, daß dies planungstechnisch und konstruktiv realisierbar ist. Mit keiner bis heute bekannten Reaktortechnik würde dies auch in Zukunft möglich sein. Selbstverständlich bin ich bereit, dies allen Fachgremien zu erläutern. Es wäre schade, wenn diese Technik nicht von deutschen Firmen bearbeitet werden könnte.

Daher die Bitte um Überlegung, ob dieses KKW-Anlagenkonzept, trotz des derzeit negativen Beschlusses der Bundesregierung, weiter planungstechnisch im Detail erarbeitet werden kann. Für eine Erstplanung bis zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit und einer mit allen Behörden abgestimmten und genehmigten Sicherheitsanalyse ist ein Engineeringaufwand von geschätzt 15 Millionen Euro erforderlich. Mit den Arbeiten könnte sofort begonnen werden. Bitte überprüfen Sie eine Möglichkeit, diese Technik in Deutschland weiter bearbeiten zu können, sonst besteht die Gefahr, daß sie ins Ausland abwandert.

Weitere Detailuntersuchungen und Entwicklungsarbeiten durch das KIT, die

auch bei nicht kerntechnischen Anlagen angewendet werden könnten, erscheinen möglich zu sein. Sie sollen nach Vereinbarung in der Sitzung überlegt und in Vorschlag gebracht

Ich selbst sehe die mir von Ihrem Hause gestellte Aufgabe, das vorhanden „HTR-know-how“ zusammenzufassen, als erfüllt an. Für diese Arbeiten habe ich etwa 2.000 bis 3.000 Rentner-Stunden benötigt. Zudem habe ich mehrere tausend Euro verauslagt, aber es hat Spaß gemacht.

Doch, ohne Kernkraft werden sich in Zukunft die wirtschaftlichen Stärken und damit die sozialen Grundlagen unserer Politik nicht erhalten lassen. Die „Energiewende“ wird sich als technisch/wirtschaftlich unbezahlbar erweisen. Sie wird höhere Belastungen und Risiken erfordern, als alle Belastungen aus den „Finanzkrisen“. Das zeigt sich bereits jetzt durch Stromausfälle für Haushaltungen und schlimmer noch durch erste „Totalabschaltungen“ für Industrie Werke. Elektrische Energie muß dort produziert werden, wo sie gebraucht wird. Der Stromtransport ist der teuerste Transport, daran ändert auch der Bau von noch so vielen zusätzlichen Übertragungsleitungen nichts, im Gegenteil, die Kosten werden nur erhöht durch hohe Durchleitungsverluste, die zusätzlich produziert werden müssen. Dies werden schon die nächsten Monate zeigen. Doch auch dies war meine Motivation zur Durchführung dieser Planungen, die sicher nicht vergeblich sein werden.

Mit vorzüglicher Hochachtung und besten Wünschen zum Neuen Jahr

Dr.-Ing. Urban Cleve  
(Erbitte Verständnis für e-mail-Versand)

Kopie: Frau MP NRW Hannelore Kraft;  
KIT: Herren Dr. Pitterich und Dr. Ehrlich;  
Prof. Dr. Kugeler;



# Deutsche Hochtemperatur- Reaktortechnologie AVR-Jülich und THTR-Hamm Uentrop

## *Der erste Gau war nicht in Tschernobyl*

Zur Ausstellung in der Petrikirche ,25 Jahre nach  
"Tschernobyl- Menschen  
-Solidarität" möchte ich  
mir erlauben, folgendes zu  
bemerken:  
Der erste GAU  
fand nicht in Tschernobyl  
statt, sondern vor 44 Jahren,  
also 1967. als Inbetriebnah-  
versuch des AVR-Ver-  
suchs- Hochtemperatur-  
Kernkraftwerkes in Jülich,  
nur keiner hat davon etwas  
bemerkt. Diese Versuche  
wurden dann noch einmal  
in Jülich und in China wie-  
derholt, mit dem gleichen  
Ergebnis.



Das AVR-46 MWth Versuchs-Kernkraftwerk

The A VR-46 MWth Experimental Power Station.

Fakt ist weiter, dass alle noch strahlenden Teile des THTR-300 in Hamrn-Uentrop, dem Nachfolge-KKW, sich im Spannbetonbehälter im so genannten sicheren Einschluss befinden. Nunmehr seit 22 Jahren. Nichts strahlt außerhalb des Behälters.

Warum werden "Katastrophen ausländischer Techniken herausgestellt", Erfolge Deutscher Entwicklung aber übergangen.

Hätten die deutschen Politiker unsere Entwicklungen nicht verhindert, vielleicht hätten die Russen dann einen THTR gebaut, so, wie es geplant war, das Unglück 20 Jahre später wäre so verhindert worden.  
Wer Details wissen möchte, der kann diese unter meinem Namen im Internet einsehen.

Dr.-Ing. Urban Cleve, Dortmund

**So sah der AVR-Hochtemperaturreaktor in der  
Kernforschungsanlage Jülich nach 2 GAU/MCA-  
Experimenten in 1967 und 1977 aus.**

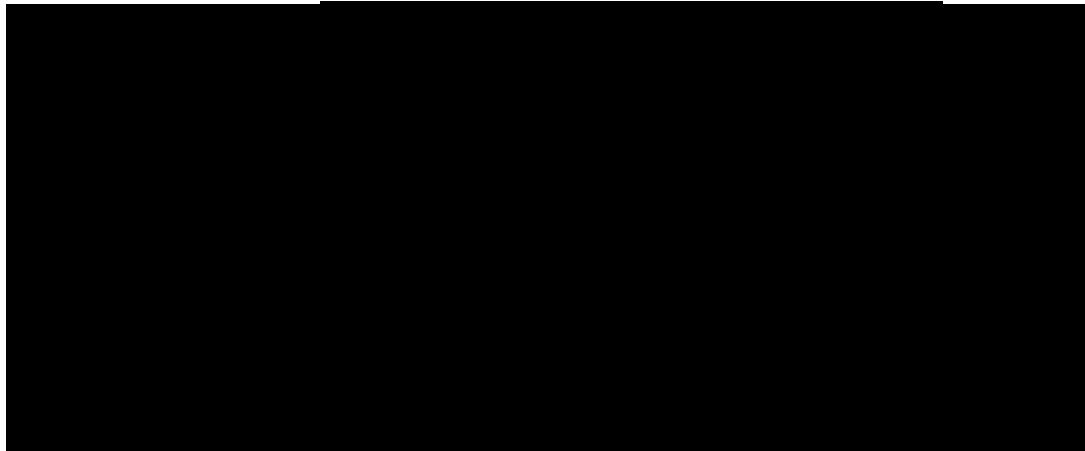
- Kein Schaden
- Keine Strahlung nach außen
- Keine Verstrahlung des Personals

**Niemand hat davon etwas gemerkt**



## The Technology of High-Temperature-Reactors

### Design, Commissioning, and Operational Results of AVR-15-MW<sub>th</sub> Experimental Reactor Jülich, Germany and THTR-300-MW<sub>th</sub> Demonstration Reactor Schmehausen, Germany and Their Impact on Future Designs



**Abstract** – This paper recalls the main design features of new large HTR-Power-Plants and shows that all goals of Professor Schulten's initial ideas were realized. Today, European and in particular German industry has had very good experience, knowledge and technology foundations for the design and safe nuclear operation of large HTR power plants up to the highest of capacities. Electrical power with very high thermodynamic efficiency can be produced as well as high temperature gases for operation of chemical processes; e.g. to synthesize hydrocarbon fuel from abundant feedstocks such as coal, biomass or recycled CO<sub>2</sub>.

#### 1. The Basic Design Features of Pebble Bed Reactors in Germany

The German development of HTR-Reactors was mainly initiated by Prof. Dr. Rudolf Schulten's ideas. He started this technology early in the 1950's and 1960's while employed by Brown Boveri, in cooperation with Krupp by "BBC/Krupp Reaktorbau GmbH".

Main Basis of his ideas and main design features are:

- Spherical graphite fuel elements, called pebbles, which contain the fission material.
- Graphite as main construction material for the core.
- A safe integrated reactor concept with helium as cooling gas.

The first experimental reactor was the AVR-46-MW<sub>th</sub>-Experimental reactor Jülich, Germany, Fig. 1, Jülich, Germany.



Figure 1. The AVR-46 MW<sub>th</sub> Experimental Power Station.

As early as in 1966 the basic design of the THTR-300, Fig.9, was initiated as demonstration reactor.

The goal at all the time and still today is the construction of an inherently safe nuclear power station with outstanding safety. The basic nuclear physical design should not permit an uncontrolled intensification of the nuclear fission process. No graphite dust is allowed, to leave the integrated inner reactor system uncontrolled.

## 2. The Pebbles as Fuel Elements

The most important components of a nuclear power station are the fuel elements. They contain the fissile material for generating the energy. The more robust the fuel elements are, the safer the nuclear power plant. The main material of the pebble fuel element is graphite. The spherical pebbles have a diameter of 6 cm while the diameter of the inner fuel is 5 cm.

Embedded in the graphite matrix are approximately 15,000 coated particles (CP) in one pebble. The CP's were developed over a long period of time with international cooperation from companies in the United States, Great Britain, The Netherlands, Australia, France, and Germany. They have a diameter of 0.9 mm. The fuel kernel is gastight and is encapsulated by three layers of hard and pressure-resistant PyC-SiC-PyC, the so called "TRISO Elements", Fig. 2.

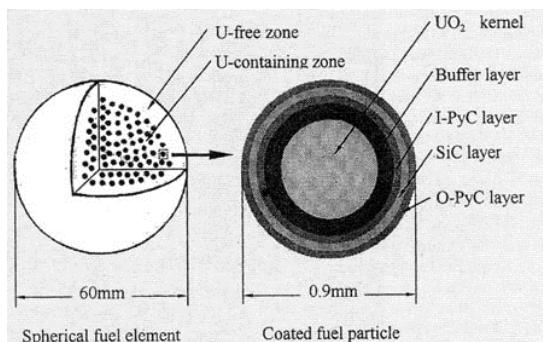


Figure 2. TRISO-Fuel Elements and coated particles.

The TRISO Elements avoid fission and decay products (radioactive waste) which are the sources of dangerous radioactivity. The coating prevents the fission materials from hazardous substances and keeps them safely contained. In addition the coatings do not deteriorate, even under high pressure and they do not corrode. In every kind of final storage, gamma radiation is generally insignificant in long term. It decays very quickly. The basic concept of a fuel element of the HTR reactor is to eliminate risk and minimize sources of dangerous material through multiple layers of containment.

The output of the power plant depends on the number of pebbles. The pebbles form a "pebble bed", in the core, and they are loaded from above and withdrawn from below. The reactor is thus operated by means of

continuous charging with fuel elements. The continuous operation of a pebble bed reactor makes it possible to achieve a very high utilization of the fuel elements, uses the fissile material very efficiently, and allows continuous operation for a long period of time without shutting down for fuel element changing.

The pebbles have proved in long time operation as excellent fuel elements. They have many advantages in comparison with other designs. Continuous operation over 8760 hours/ year is possible for several years. No

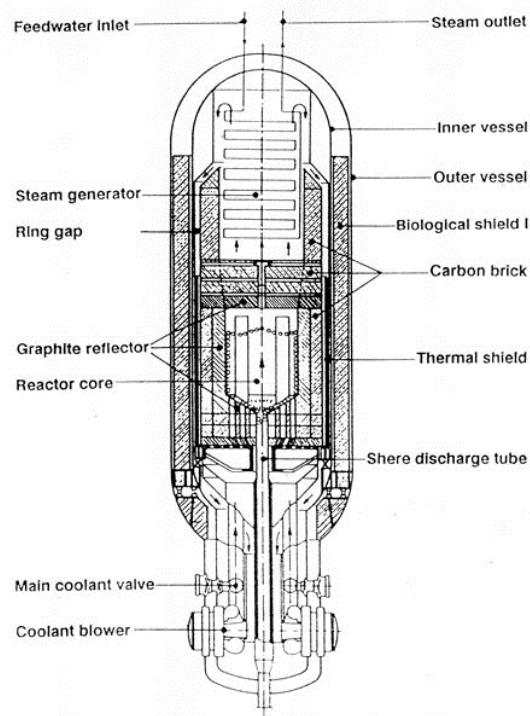


Figure 3. Section through the AVR primary circuit.

shut down for exchange of fuel elements is necessary.

Modern HTR TRISO fuel particles have been shown to retain fission products during normal operation and under accident conditions.<sup>1</sup>

The quality level of the German fuel produced in the 1980s set a world-wide standard, which was later followed by other countries active in HTR fuel development.<sup>2</sup>

## 3. Operational Results of the AVR

The design of the AVR started in the early 1960s and attained its first criticality on August 28, 1966. First electric power was produced on December 18, 1966. A cross-section of the AVR reactor is shown in Fig. 3.

The inner graphite core structure of the AVR is shown in Fig. 4. The core diameter is 3 m and is surrounded by the graphite reflector, the thermal shield, the inner pressure vessel, the first bio shield and the outer pressure vessel. The main components are the

steam generator, the cooling gas blowers, Fig. 5, the shutdown rods, the fuel feed system shown in Fig. 6 - extraction system of the pebbles-, and the fuel cycle, Fig.7 and the helium gas cleaning circuit.

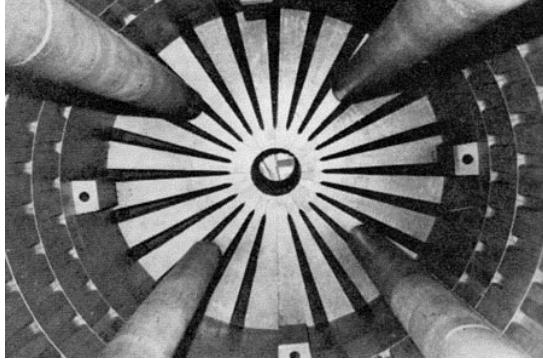


Figure 4. Section through the AVR primary circuit.

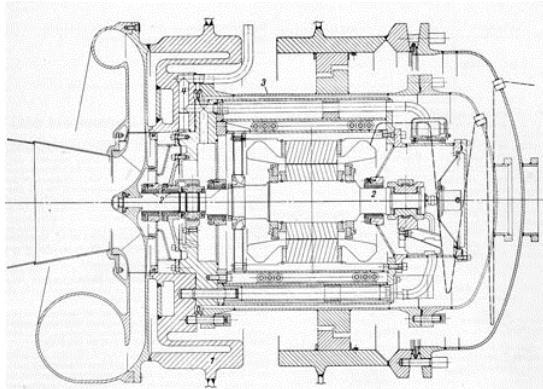


Figure 5. Gas cooling blowers.

The AVR was in operation for more than 22 years. The main operational results are:

- The simulation of a loss-of-coolant accident. The blowers were stopped, the shutdown rods were blocked, and the electrical supply was placed out of operation. This was the simulation of a worst case scenario. First experiment was done in 1967. Gas temperature was 850°C with a power output of 46 MW<sub>the</sub>. This can cause the most severe type accident for a nuclear power station as occurred in Chernobyl. The core and graphite temperatures had been measured and the experiment showed that in the case of a loss-of-coolant accident, decay heat can be removed from the core without forced cooling and without causing unacceptably high temperatures in the surrounding components. These second tests in 1976 supplied extensive data

material for the testing of computer program simulations. Cooling gas temperature was 950°C. These experiments demonstrated that

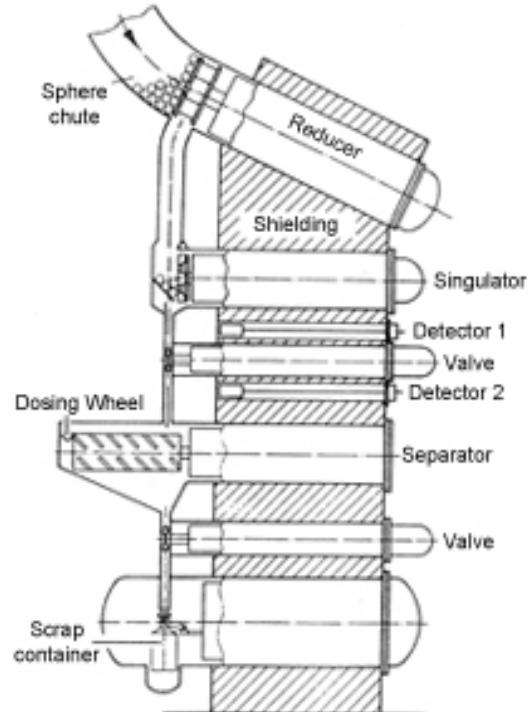


Figure 6. The fuel extraction system.

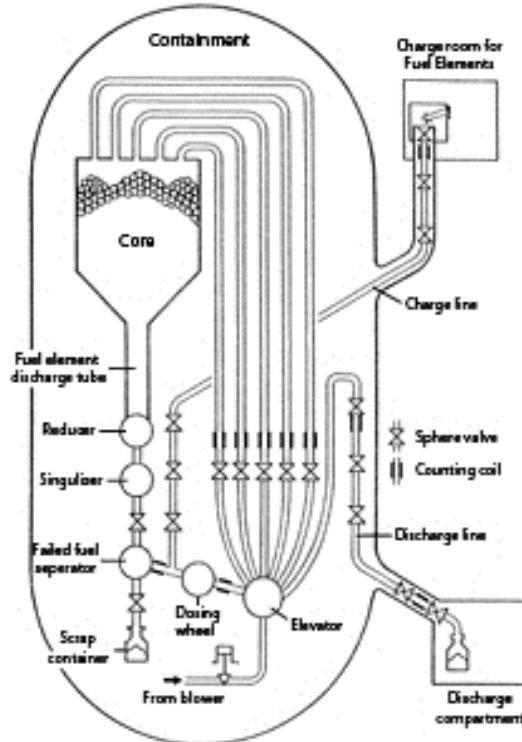


Figure 7. Basic diagram of the fuel cycle.

the reactor was “inherently safe”. Fig.8.

- A similar test was done and proved with the HTR-10 in China, with the same success.
- One major incident happened with the steam generator. The steam generator was designed with four separate circuits, to provide the ability to shut down one circuit in case of leakage. In this situation, high pressure hot water or steam leaked into the helium gas. This only occurred on time. The problem was identified in a short time and the reactor was shut down. The control concept for water ingress accidents worked well. This was the only serious incident which occurred in all the years of operation. The reactor was out of operation for many months and after repair the steam generator worked without problems and at its full capacity

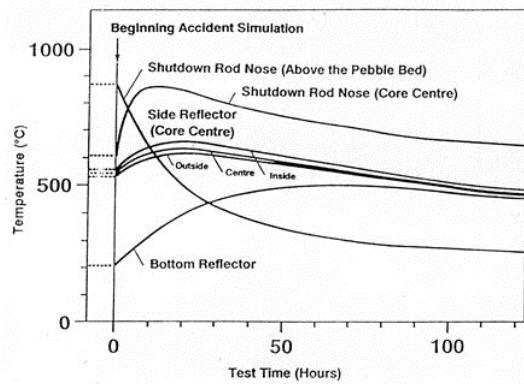


Figure 8. Loss-of-Coolant Accident Test results.

of 15 MW<sub>el</sub>.

- All other components worked safely and were tested under normal conditions in the laboratory. Primary and final testing was performed under helium conditions in the reactor. All these tests indicated a lot of problems and difficulties that could only be solved after quite expensive and extensive testing. However, a lot of experience in the field of helium technology was gained. During operation, all components could be repaired by use of special, newly designed devices to help to protect operational personnel from radioactivity. These devices worked very well and many repairs could be performed during operation of the reactor.
- The radioactivity of the helium gas in the primary circuit was as low as 360 Curie.
- The fuel feed and discharge system showed excellent availability. 2,400,000 fuel elements were transported during the time of operation. Only 220 fuel elements were destroyed resulting in only 0.0092% of the handled elements being ruptured.

- During the operation in 22 years no accidents with radioactivity exposure occurred with personnel nor with the environment.
- The AVR was an excellent test reactor for a variety of different fuel elements with different kinds and compositions of U and Th. A complete survey of all fuel element types, inserted and tested in the AVR is given in /5,10/.
- The operational time of the AVR in spite of experiments, was 66.4%. The highest availability was 92% in 1976, an outstanding result for a very new design.

AVR was shut down for political reasons on December 31, 1988. All current and planned tests with fuel elements were stopped, which was a very poor decision for future development of HTR-reactors.

#### 4. The THTR-300 in Hamm-Uentrop / Schmehausen

The basic design of the THTR-300<sub>el</sub> demonstration reactor was started in 1965, Fig. 9. When the decision was made to construct the THTR, no prior experience from the AVR could be brought forward since the AVR was not yet in production. Even so, it was a bold decision to construct a new reactor with such a high capacity as follow-on concept to the AVR and up to now it was the right decision.

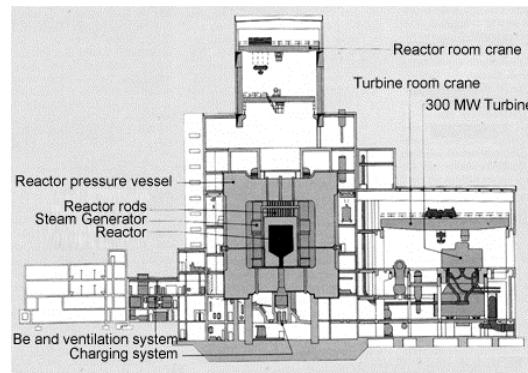


Figure 9. The THTR-300 MWel Demonstration Power Station in Schmehausen, Germany.

The main design differences of the THTR to the AVR were:

- Pre-stressed concrete pressure vessel instead of steel. The dimension was 16 m in diameter and 18 m high and was designed this way mainly for safety reasons. A model with a scale of 1:20 was designed and tested by water pressure. First very small cracks occurred at a pressure between 90-120 bar. The main crack was reached at 190 bar. After pressure drop to 40 bar the vessel was nearly gastight again.

- A closed inner circuit for the He cooling gas to avoid the release of fission products and graphitic dust which for example could be partially contaminated with Sr-90, Cs-137, and/or Ag.
- No containment.
- Helium gas flow from top to bottom.
- TRISO pebble fuel elements.
- All other components such as blowers, fuel element feeding, helium gas circuits, steam generator, graphite structures, etc. were designed very similar to the components in the AVR.

Later calculations of the reactor core showed that the diameter of the core was too large and the shutdown rods in the surrounding graphite structure could not cool down the fuel bed to the necessary low temperature in case of a shutdown of the reactor. Up to this time no experience was available with the behavior of the graphite core structure in long time operation. Therefore, a decision was made to insert the shutdown rods into the fuel bed with the danger that fuel elements could be crushed. Also, a decision was made to design a new extraction device for the pebbles which was very different from the extraction device used by the AVR. Both of these decisions were made without any prior experience of similar designs. These both decisions were discovered to be mistakes after the power plant was put into operation. There was no nuclear risk at all, but the operation led to difficulties. The rupture of pebbles was 0.6%, very high compared to the results of the AVR at 0.0092%.

The positive results of the operation of THTR-300<sub>el</sub> are as follows:

- HTR power stations can be operated and connected to the network in the same way as conventional plants.
- Rupture of fuel elements does not increase the radioactivity of the helium cooling gas.
- Thermodynamic efficiency can be as high as in the best conventional power plants, two times intermediate reheating of the steam is possible.
- The nuclear and radiological safety of personnel and the environment is excellent.
- No radiation injuries, neither in the AVR nor in the THTR-300, occurred.

## 5. New Design of large HTR-Reactors with Ring-Cores

The longtime operational experience of the AVR and despite the relatively short period of 3 years operation of the THTR, many important discoveries were generated from these two plants which are necessary for the design and construction of new and future commercial HTR power plants. It is possible to design plants with higher capacity up to 4,000 MW<sub>the</sub>, and it will be possible to operate them with very high efficiency and reliability.

So new HTR power plants can be designed with the same high capacity as the most modern PWR-Gen.IV power stations.

The experiences with graphite structures in the AVR and THTR-300 were excellent. Therefore this core design may not produce any problems. The designs in AVR and THTR had been constructed without any experience as first time solutions. Now we have a lot of long time experience and additional design possibilities to construct graphite cores with very high stability. An internal inspection of the graphite structure of the AVR after more than 22 operational years showed not the smallest shift of graphite blocks. Furthermore the development of graphite as suitable material in HTR-Reactors has made good progress in the meantime.

The main design features for this very new concept

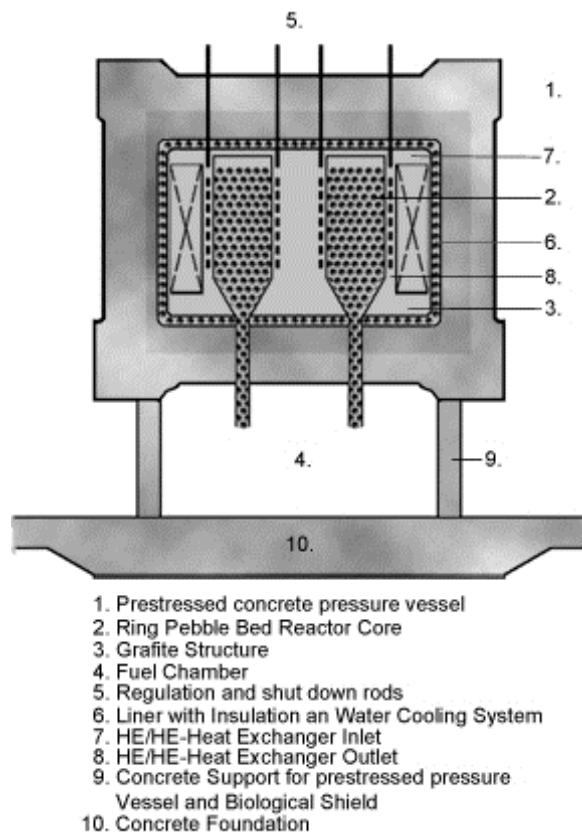


Figure 10. New Design of a Ring Core Pebble Bed Reactor.

must be:

- TRISO pebbles as fuel elements.<sup>1,2</sup>
- Use of U-235 together with Th-232 to breed U-233.
- Pre-stressed concrete pressure vessel;

- New design of a Pebble-Bed-Ring-Core /PBRC/ with several extraction devices for the pebbles, Fig. 10.
- An additional advantage of a Ring Core is the better and more regular/symmetrical flow of pebbles through the core. This leads to higher burn down of the pebbles and better cooling of the complete pebble bed.
- Shut down rods, only inserted in the graphite structures.
- He/He-heat exchangers in the interior of the pressure vessel.
- Outside steam generators, He/H<sub>2</sub>O for use in power plants to produce electrical energy in steam turbine generators as well as high temperature gases for operation of chemical processes, e.g. to synthesize hydrocarbon fuel from abundant feedstocks, such as coal or biomass, to produce, for example, liquid fuel or for high temperature heat in a variety of chemical plants.
- All other components are similar to the components used in the AVR and THTR power plants. So they may not produce difficult technical problems.
- Inherent safety features of the reactor are paramount. As twice tested in the AVR and in the HTR-10. A major accident is not possible for nuclear physics reasons.
- In case of an accident the rest-heat of the core can be removed by the heat exchangers and by the water cooling system of the liner.

At the end of operational life of the reactor, all radioactive components can be stored in the concrete pressure vessel. This is one of the main experiences to store the radioactive components very safely in the concrete pressure vessel of the THTR, now for more than 22 Years. All of the burned out pebbles used in the AVR and THTR power plants are currently stored in cast iron "castor" containers in Ahaus, Germany. The measured radioactivity outside the containers is as low as 0,001mS. Temperatures in the interior of the containers lower than 50°C are measured.

All experiences and the design shows, that all safety re-evaluations for HTR-concepts<sup>3</sup>, proposed by R. Moormann, FZ Jülich-, in 2008, which caused large political trouble in Germany in 2009, were already considered and solved in the design of THTR-300. He did not refer in his paper to the design of the THTR-300 with a single argument. So there is not a single new proposal or understanding in this report with regards to the existing knowledge in 1966. (Moormann refused several demands to discuss his paper. The management of Fz-Jülich had been recommended by writing to withdraw this paper, as it is a disgrace. No answer, no comment up to now.)

Remains the question of possible problems with the Non-proliferation Treaty -NPT-, as PU may be produced by burning U238. The experience is, that PU is only produced as long as the pebbles are not nearly fully burnt-up. Extensive calculations and test were done in ZA <sup>4</sup> showing, that combinations of PU 238/239/240/241/242, U235, Fissile PU i.e.PU 239 and PU 241 and Th can be burnt together in coated particles. So a Pebble Bed HTR can be used to burn-up PU. The design of the pebbles fuel cycle -Fig.7- shows, that every single pebble can and will be measured to the degree of burn-up. So with a HTR Pebble Bed Reactor the disposal of PU can be very extensively controlled, as each pebble can be treated individually. So very detailed and full control of PU disposal is guaranteed and possible by inspection.

Further this experience proves that all problems of safe long-term final storage of burned fuel elements, components and other waste can be solved by this integrated concept of a new HTR power plant. No external storage or transportation of fuel elements or other radioactive material is necessary.

The engineering design of this concept is still completely available with the basic know how of all parts, circuits and components of AVR and THTR, as well as all fundamental documents for approval of all authorities for erection and operation.<sup>5,6,7</sup>

## 6. Summary and Conclusions.

Future designs of HTR-Reactors should/must have the following important design elements, mainly for safety reasons:

- Inherently safe design.
- No melting of the core is possible.<sup>8</sup>
- Gastight integrated helium circuit.
- Smaller reactors with one central core can be designed with steel vessels, -example AVR-,
- Larger reactors up to highest capacities should be designed with pre-stressed concrete pressure vessels, example THTR-300.
- Pebble-Bed-Ring-Core /PBRC/ for higher capacities. No shut down rods into the pebble bed.
- Pebbles as fuel elements with TRISO coated particles.
- Small room is necessary to store the fuel elements.
- Safe against heavy earthquakes.
- Safe against terrorism and other greater/heavier accidents.
- Very good and simple control of nuclear material e.g. PU.

This design will have the following main economical advantages:

- High primary helium gas temperatures up to 1100°C;
- High He-primary and secondary gas/steam temperatures make it possible to reach high efficiency in secondary processes.
- High gas temperatures are the basic to install on secondary site 1 chemical processes to produce e.g. hydrogen and/or liquid fuels.
- No shut down of the power plant for exchanging of fuel elements.
- Combination of producing electric power and heat for heat supply for different kinds of following processes.
- Thermodynamic water/steam circuit up to two times intermediate reheating of the steam.
- Thermodynamic efficiency as high as in conventional power plants
- Very high burn up of nuclear material.
- Use of Th 232 in combination with U 235 to produce U 233.
- Breeding of new nuclear material.
- Very good possibility to handle and store radioactive material, the pebbles included, in the power station.
- Long time storage of radioactive material is possible.
- No transportation of radioactive material outside the power station is necessary.
- Burn-up and “disposal” of PU included Weapons-PU.

This concept of an HTR makes it possible to build a nuclear power station without any danger of a major accident and promises high efficiency and longtime operational periods. The integrated design makes it possible to avoid any radioactivity outside the power station. After final shut down all radioactive waste, including the pebbles can be stored inside the concrete parts of the station. No radioactivity can or should be detected outside the plant. So this design will have the highest possible safety standard.<sup>8,9</sup>

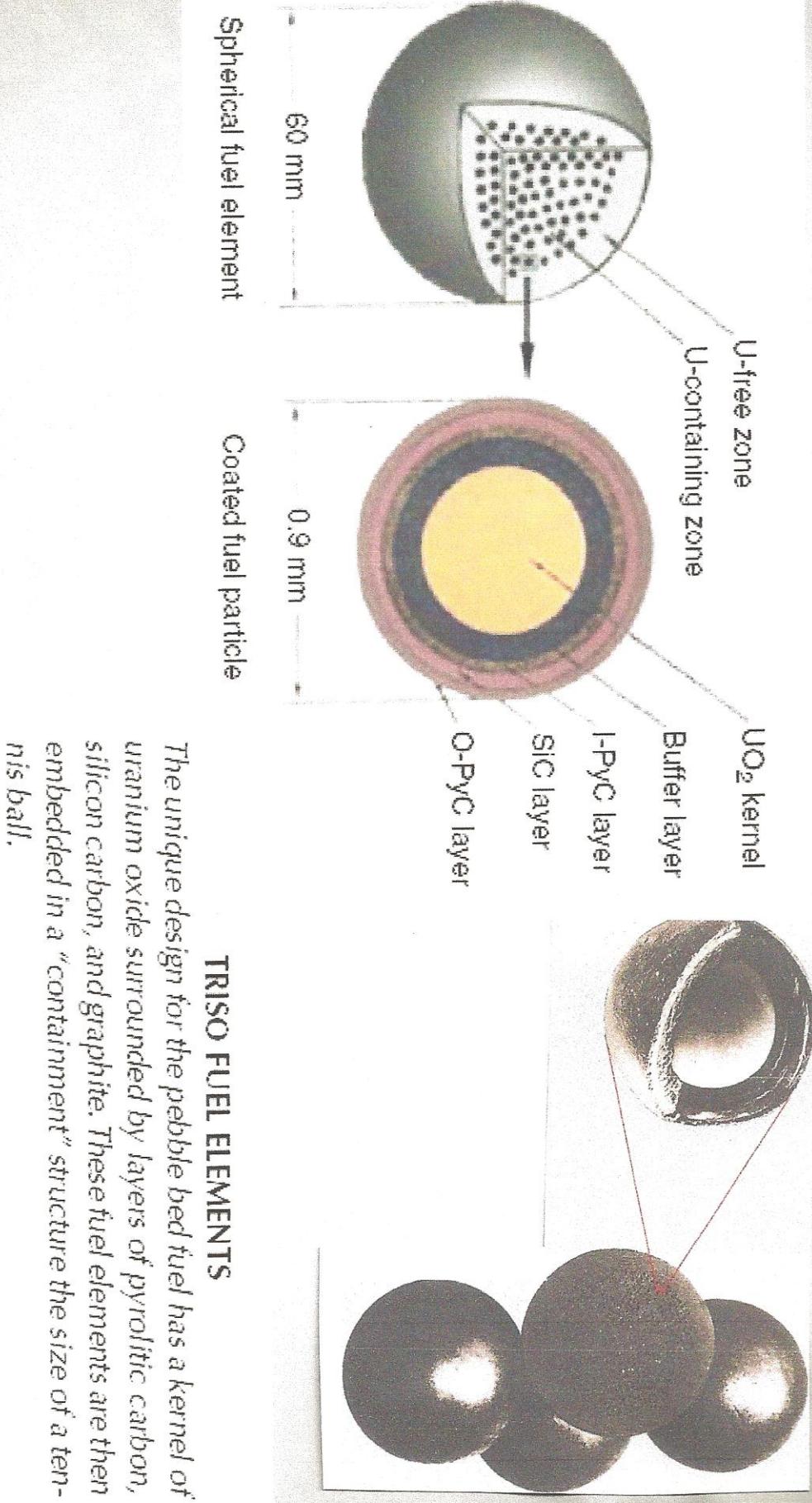
Consequences for Future HTR Concepts, FZ-Jülich Report 4274 (2008).

4. E.MULDER, D.SERFONTEIN, W.VAN DER MERVE; E.TEUCHERT: Thorium and uranium fuel cycle symbiosis in a Pebble Bed High Temperature Reactor. Proceedings of HTR 2010 Prague 2010.
5. U.CLEVE, The Design of High Temperature Reactors (Die Technik der Hochtemperaturreaktoren), Atomwirtschaft atw (12/2009 with 35 lit.refs.).
6. U.CLEVE, Nuclear High Temperature Technology to Produce Liquid Fuel of Hydrocarbon and Electrical Power (Nukleare Hochtemperaturreaktor-technik zur Erzeugung flüssiger Brennstoffe, von Wasserstoff und elektrischer Energie), atw (4/2011 with 23 lit.refs.).
7. K.KNIZIA, Der THTR-300- eine vertane Chance? Atomwirtschaft-atw(7/2002)
8. K.Kugeler, Gibt es einen katastrophenenfreien Kernreaktor? Physikalische Blätter 37(2001),Nr.11.
9. H.Bonnenberg: High Temperature Gas-Cooled Reactor with Spherical Fuel Elements – A German Development Implemented Abroad. DGAP-2007.

## References

1. H.NABIELEK, K.VERFONDERN, M.J.KANIA, HTR Fuel Testing in AVR and MTRs. HTR Conference, Prague (2010).
2. H.NABIELEK, C.TANG, A.MÜLLER, “Recent Advances in HTR Fuel Manufacture”. HTR Conference, Prague (2010).
3. R.MOORMANN, A Safety Re-evaluation of the AVR Pebble Bed Reactor Operation and its

# TRISO Fuel Elements



## TRISO FUEL ELEMENTS

The unique design for the pebble bed fuel has a kernel of uranium oxide surrounded by layers of pyrolytic carbon, silicon carbon, and graphite. These fuel elements are then embedded in a "containment" structure the size of a tennis ball.





## Comparison of Fuel Elements LWR versus THTR Reactors

The fuel elements are the most important elements of a reactor and the nuclear power station. The safer they are, the safer is the power station. The fission and decay products are sources of dangerous activity. Therefore a comparison between these elements is of great importance.

These differences are shown below:

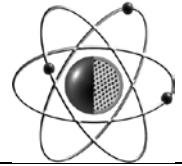
|  | Rod  | Pebble                                |
|--|--|---------------------------------------|
| • Medium power density:  | 230 W/cm <sup>3</sup> ;                    | 4-8 W/cm <sup>3</sup> ;               |
| • Maximum fuel temperature:  | 2.200° C;                                  | 1.300° C;                             |
| • Maximum temp. difference cooling medium/fuel temp.:                                      | 1.800° C;                                  | 150° C - 400°C;                       |
| • Max. allowed temperature for supporting material: inconel: 750 ° C; graphite: 3.000 ° C; |  |                                       |
| • Max. allowed temperature of the fuel particle: pellet 470°C; TRISO Particle: 1.630°C;    |  |                                       |
| • Diameter: of pellet: 6mm; of coated particle: 0.9 mm;                                    |  |                                       |
| • Max. temp. fission penetration:  | 470 °C ;                                   | 1.600 ° C;                            |
| • Number of particles in a pebble:   |  | 15.000 - 40.000;                      |
| • Fission prevent:   | 470 °C;                                    | 1.670 °C;                             |
| • Secondary heat release:  | cooling necessary;                         | no cooling;                           |
| • Heat release:  | cooling necessary;                         | no cooling;                           |
| • Consequences if cooling fails:   | MCA;                                       | no problems;<br>(INES 7); (INES 0-1); |
| • Heat production of burnt off Fuel elements:  | cooled water storage; un-cooled container; |                                       |
| • Final storage:   | Castor Containers warm;                    | steel containers;                     |
| • Rest Radiation:  | may cause problem;                         | no problem;                           |

### Advantage of rods:

smaller core diameter and volume; Steel Vessel possible;

### Disadvantage of rods:

if cooling fails MCA (INES 7);



Advantage of pebbles:

inherently safe, no cooling necessary; no MCA possible, (INES 0-1);

Disadvantage of pebbles:

larger diameter and volume of Core; large pre-stressed-concrete-pressure-vessel may be necessary with capacities of more than 100 MW<sub>el</sub>; higher investment costs for core and pressure vessel.

Pictures:

- 1.) TRISO Fuel Elements;
- 2.) Fuel Elements and pebbles composition in a THTR;
- 3.) First fuelling of AVR on July 14<sub>th</sub> 1966;
- 4.) Pebble Bed of THTR-300 with safety rods in the bed;

# The 7<sup>th</sup> World HydrogenTechnology Convention

& Czech Hydrogen Days 2017

Prague, 9. – 12.July 2017

The Technology of HT-Nuclear-Power-Stations with Pebble Fuel Elements to generate 600 MWel/1.500 MWth Electric Power and Heat to produce Drinkingwater out of Sea/Wastewater in Combination with Solar Plants.

Dr.-Ing. Urban Cleve

T:

C

## Abstract:

The Production of Drinking water out of Sea-or Wastewater together with H<sub>2</sub>- production is one of the most important tasks for Developing of Worldwide not Industrialized Regions and of highest economical interest (1). The evaporation of Sea/wastewater, and following condensing will be the very best technology but the solution with highest costs for heating up. HTR-Powerstations are the utmost Technology to solve the cost factor due to Producing High Temperature Heat together with electric power for all secondary processes by minimisation of costs for every one secondary production line.(1; 18;).

This Paper recalls the main design features for new large HTR-Power-Stations.

The Additional Use of Sun Power may enlarge the profitability. HTR- Power Plants, up to the highest capacities with combined generation of Electricity and Drinkingwater, facilitates the highest thermodynamic efficiency and therefore lowest costs, So they are the most economical Heat Producer.

The Operational Results of AVR-15-MW<sub>el</sub> 46 MW<sub>th</sub> Experimental Reactor /Fig.1/and the THTR-300 MW<sub>el</sub>/750 MW<sub>th</sub>- Demonstration Reactor /Fig.2/ will be the Basic for the Design of new 600 MW<sub>el</sub> / 1.500 MW<sub>th</sub> Nuclear Power Stations to generate electricity and water. The inherent safety of this design has been proved in two times successful MCA –Simulation-Tests with the AVR-Power Station, world wide up to now the only MCA-Tests in Nuclear Power-Stations with totally Loss Of Coolant Accident /LOCA/.





## Stockroom of Castor



# Projekte zur nuklearen Meerwasserentsalzung

Von Marcia Merry Baker

*Die Meerwasserentsalzung mit Hilfe der Kernenergie ist die effektivste Art, Trinkwasser in großer Menge herzustellen. Es folgt ein Überblick über den derzeitigen Stand der Entwicklung.*

An mehreren Standorten Eurasiens – in China, Rußland, Indien und Südkorea – gibt es Anlagen und Pläne für nukleare Meerwasserentsalzung. Außerdem gibt es mehrere Gemeinschaftsvorhaben auf anderen Kontinenten, so in Südamerika zwischen Argentinien und Rußland, China und Südkorea. In Nordamerika sind keine derartigen Pläne bekannt, obgleich in den westlichen Bundesstaaten der USA die schlimmste Dürre seit 500 Jahren herrscht. Zudem gab es in den 1950er und 60er Jahren im Rahmen des Programms „Atome für den Frieden“ unter Präsident Eisenhower und dann unter Kennedy konkrete Pläne, in Nordamerika und in Wüstengegenden in aller Welt große nukleare Entsalzungsanlagen zu bauen. Daran anknüpfend rief der frühere Präsident der American Nuclear Society, Edward L. Quinn, im Juli 2014 dringend dazu auf, in Kalifornien diese Pläne wieder aufzugreifen.

Die 1957 gegründete Internationale Atomenergieagentur hat 1998 unter Beteiligung von neun Mitgliedsstaaten ein Koordiniertes Forschungsprojekt eingerichtet, das auf die „Optimierung der Kopplung von Kernreaktoren und Entsalzungsanlagen“ abzielt. An dem Programm beteiligen sich inzwischen mehr als 20 Länder, es kann somit einen Rahmen für ein erweitertes Vorgehen bilden. Auf dem Weltwassergipfel im April 2012 in Paris sprachen sich zahlreiche Wasserspezialisten dafür aus, Entsalzungsanlagen und Kernkraftblöcke an Standorten zu kombinieren. Am 18. September 2014 berief Rußland in Moskau den ersten Internationalen Expertenrat über Entsalzung ein, auf dem der russische Nuklearkonzern Rosatom seine Bereitschaft bekundete, sich am Bau und Betrieb von Entsalzungsanlagen überall auf der Welt zu beteiligen.

Es folgt ein Überblick über die Aktivitäten in einzelnen Ländern.

## China

- Das chinesische Kernenergieunternehmen China General Nuclear Power (CGN) betreibt in Dalian in der nordostchinesischen Provinz Liaoning das neue Hongyanhe-Kernkraftprojekt, bei dem mit Abwärme pro Tag 10.080 m<sup>3</sup> Meerwasser entsalzt werden und dann als Kühlwasser dienen.
- ACP100-Reaktoren. Die CNNC New Energy Corporation, ein Joint Venture aus CNNC (51%) und der China Guadian-Gruppe, hat im April 2011 ein Forschungsvorhaben begonnen, um eine Batterie von kleinen, modularen Kernreaktoren für die Entsalzung und andere industrielle Anwendungen sowie zur Stromerzeugung zu entwickeln, darunter zwei kleine modulare integrierte

ACP100-Reaktoren in der Provinz Fukian (Zhangzhou), ACP100-Reaktoren an zwei Standorten in der Provinz Jiangxi (Shangrao und Ganzhou) sowie Reaktoren für den Export.

- Chinesische Behörden prüfen den Bau einer Meerwasser-Entsalzungsanlage auf der Halbinsel Shandong im Kreis Yantai, um mit einem Nwt NHR-200-Reaktor bis zu 160.000 m<sup>3</sup> Trinkwasser pro Tag zu produzieren.

## Indien

- Im Südosten Indiens wurde 2002 ein Demonstrationsprojekt für nukleare Entsalzung (NDDP) am Kernkraftwerk Madras in Kalpakkam eingerichtet, das mit zwei 170-MWe-Kernreaktoren ausgestattet ist. Die Entsalzung



Die Meerwasserentsalzungsanlage Carlsbad bei San Diego an der Pazifikküste im Süden Kaliforniens ist die größte Entsalzungsanlage der westlichen Hemisphäre, arbeitet jedoch ohne Kernkraft und deckt nur 7% des Wasserbedarfs von San Diego.

läuft im Hybridbetrieb mit einer Umkehrosmose(UO)-Einheit (1800 m<sup>3</sup> pro Tag) und einer Anlage zur Mehrstufen-Entspannungsverdampfung (MEV) (4500 m<sup>3</sup> pro Tag). Vor kurzem wurde noch eine schwimmende Umkehrosmose-Einheit hinzugefügt. Nach Angaben der World Nuclear Association ist dies die größte nukleare Entsalzungsanlage mit der MEV-UO-Hybridtechnik auf der Welt.

- In Tamil Nadu wurde im April 2013 eine weitere Entsalzungsanlage genehmigt, die mit mechanischer Druckkompression (MVC) 7200 m<sup>3</sup> Trinkwasser pro Tag liefern soll. Die Anlage soll am Kernkraftwerk Kudankulam entstehen, wo bereits seit 2009 eine MVC-Anlage mit einer Kapazität von 10.200 m<sup>3</sup> pro Tag betrieben wird, die Süßwasser für den Reaktor und die Stadt erzeugt.

## Rußland

Entsalzung ist integraler Bestandteil mehrerer innovativer Entwürfe für schwimmende Kernkraftwerke, die derzeit in Russland realisiert werden. Diese kleinen Einheiten, basierend auf dem KLT-405-Reaktor aus russischen Eisbrechern, können entweder auf dem Festland oder schwimmend gebaut werden. Ein solches Reaktorpaar kann 85 MWe und

120.000 m<sup>3</sup> Trinkwasser pro Tag produzieren. Mehrere andere Kombinationen sind möglich. Das schwimmende Kernkraftwerk Wolnołom zum Beispiel ist mit einem Reaktorpaar auf einem 97 m langen Lastschiff mit einem UO-System ausgestattet und kann 12 MWe sowie 40.000 m<sup>3</sup> Trinkwasser pro Tag erzeugen. Es gibt auch größere Entwürfe mit einem 170 m langen Lastschiff, Pontons und größeren Reaktoren. Diese Anlage hätte eine Laufzeit von 60 Jahren und müßte nach 20 Jahren überholt werden.

## Afrika

- Ägypten. Präsident Al-Sisi hat am 6. September 2014 in einer Fernsehansprache Investitionen von 12 Mrd. \$ in den kommenden fünf Jahren in die Stromerzeugung angekündigt. Damit werden auch (seit 1980) bestehende Pläne zur Fertigstellung einer dualen Anlage zur Stromerzeugung und Meerwasserentsalzung in Al-Dabaa an der Mittelmeerküste vorangebracht. Die Anlage soll aus vier 1000-MWe-Reaktoren bestehen.
- Marokko. China hat eine Projektstudie für eine Kernkraftanlage in Tan-Tan an der Atlantikküste angefertigt. Mit einem 10-MWe-Reaktor könnten 8000 m<sup>3</sup> Trinkwasser



Konventionell betriebene Entsalzungsanlage an der Jebel Ali G Station, Dubai.

pro Tag nach dem MED-Verfahren produziert werden. Russland hat an Plänen zum Bau eines Kernreaktors in Sidi Boulaq mitgewirkt, der 2016-17 fertiggestellt sein soll. Atomstroyexport war an den Machbarkeitsstudien beteiligt.

- **Algerien.** 2012 wurde eine Studie angefertigt, die zeigte, welche Vorteile der Bau einer dualen Kernkraft/Entsalzungsanlage in Mostaganem an der westalgerischen Küste hätte, wo es kaum Niederschläge gibt. In Übereinstimmung mit dem nationalen Indikativprogramm zur Stromerzeugung wurden Ziele für den Energiebedarf und zur Deckung des Wasserbedarfs für die örtliche Bevölkerung für 25 Jahre über das Projektdatum von 2016 hinaus festgelegt.
- **Libyen.** 2007 wurde eine Absichtserklärung mit Frankreich zum Bau eines mittelgroßen Kernreaktors an der Küste mit angeschlossener Meerwasserentsalzung unterzeichnet; Lieferant soll die Areva TA sein. Aufgrund des von außen aufgezwungenen blutigen Regierungssturzes und Bürgerkriegs ist das Projekt hinfällig geworden.

## Asien

- Neben dem bereits betriebenen Kernkraftwerk werden in Buschehr im Süden des Iran mit Hilfe der Rosatom zwei neue Reaktoren entstehen. Sie haben beide eine Leistung von je 1000 MW und eine angeschlossene Entsalzeinheit. Der alte Reaktor hat bereits eine Entsalzeinheit, die im Sommer 2014 in Betrieb ging.
- In Jordanien prüft man aktiv Pläne zum Einstieg in die Kernenergie zur Stromgewinnung und Meerwasserentsalzung.

- Am Persischen Golf verfolgt man mehrere aktive Pläne. Kuwait erwägt ein Projekt, das in einer mit einem 1000-MW-Kernreaktor gekoppelten Anlage bis zu 140.000 m<sup>3</sup> Trinkwasser pro Tag produzieren könnte. In den Vereinigten Arabischen Emiraten sind vier Kernkraftwerke im Bau. In Katar wird der Bau einer nuklearen Entsalzungsanlage geprüft.
- In Südostasien zieht Indonesien den Bau einer Großanlage in Batam in Betracht. Für die Insel Madura wurde zusammen mit Südkorea eine Machbarkeitsstudie für den Bau eines System-Integrated Modular Advanced Reactor (SMART) mit einer angeschlossenen Entsalzungsanlage nach dem MED-Verfahren durchgeführt.

## Südamerika

In Argentinien wurde am 12. Juli 2014 ein nukleares Kooperationsabkommen zwischen der russischen Rosatom und der argentinischen Regierung unterzeichnet. Der russische Präsident Wladimir Putin und die [damalige – A. d. Red.] argentinische Präsidentin Cristina de Kirchner betonten dabei, daß es bei dem Abkommen auch um den Bau von Wassersalzungsanlagen gehe. Dieses letzte Abkommen ist die Weiterführung von 2010 und danach geschlossener Vereinbarungen Argentiniens mit Russland, China und Südkorea. Die russische Rosatom hat einen Vorschlag zur technischen und wirtschaftlichen Beteiligung am Bau des Kernkraftwerks Atucha-III eingereicht.

*Erstellt aus Material der World Nuclear Association und anderer Quellen, Stand September 2014*