

Sicherheitskriterien für Hochtemperatur Kern-Reaktoren mit

TRISO-Brennelementen (Kugeln) Stand 28. Apr. 2022

zusammengestellt durch Dipl.-Ing. Jochen Michels im April 2022 auf Basis der Unterlagen von Prof. Dr. Rudolf Schulten †, Dr.-Ing. Urban Cleve und anderen.

1. Ziele der HTR-Entwicklung.

Prof. Dr. Rudolf Schulten, Heisenberg Schüler, sah als Leiter der Reaktorentwicklung bei BBC seine Aufgabe darin, ein inhärent sicheres Kernkraftwerk zu entwickeln. Keine noch so schwere Störung durfte zu einem katastrophalen Unfall (INES Stufe 7)¹ führen. Der katastrophenfreie Kernreaktor darf Rest-Risiken in keinem Falle haben. Schulten wählte Grafit für das kugelförmige Brennelement und für den Moderator wegen dessen Festigkeit bis zu mehr als 3.000 Grad C. Im Inneren der Kugeln enthalten Zigtausende winziger Brennstoffpartikel als Spaltmaterial Uran und Thorium. Zur Kühlung und zum Wärmetransport wird das inerte Gas Helium in geschlossenem Kreislauf eingesetzt. Dieses gibt die Wärme ab an ein anderes Medium – z.B. Wasser - mit Hilfe eines Wärmetauschers. Reaktor und Wärmetauscher befinden sich in dem gleichen Druckraum, dem sog. Reaktor-Druckbehälter (RDB). Zur noch höheren Sicherheit kann man auch zwei Wärmetauscher hintereinanderschalten.

2. Sicherheits-Kriterien

a. Aus den Schulten'schen Zielen ergeben sich folgende Kriterien, die gewahrt werden müssen:

- Sicherheit gegen
 1. Hochwasser,
 2. extreme Wetterbedingungen,
 3. Flugzeugabsturz,
 4. Meteoriteneinschlag,
 5. Cyberangriff,
 6. Pandemie,
 7. Terroristische Handlungen
 8. Kombinationswirkungen solcher Ereignisse;
 9. Sabotage
 10. Diebstahl, Raub von Spaltmaterial
- Stabilität gegen Erdbeben und Bodendynamik;
- Niedrige Energiedichte, niedrige Leistung
- Ofenprinzip statt Meilerprinzip
- Entbehrlichkeit menschlicher Eingriffe bei Störfällen
- „Zero-Emissionskonzept“² auch bei größten Störfällen;

¹ Das entspricht etwa dem populären Ausdruck „GAU“ d.h. Größter anzunehmender Unfall, wo gefährliche Radioaktivität innerhalb der Gebäude und des Grundstückes bleibt und diese auf längere Zeit kontaminiert. Im Englischen benennt man dies mit meltdown (Kernschmelze), macht aber nicht den Unterschied zum Grundstücksgrenzen überschreitenden Störfall. Dieser wird im Deutschen als Supergau bezeichnet.

² Darunter ist zu verstehen, dass selbst im grössten denkbaren Unfall die Radioaktivität nicht über das Grundstück hinaus höher ist, als die normale Umwelt-Radioaktivität. Oberstes Ziel der Sicherheitsplanung ist das „Zero-Emissions-Prinzip“: auch im

b. Die im Rahmen der Gen IV Ziele definierten Sicherheitsforderungen lauten:

- hohe Sicherheitsstandards
- sehr geringe Wahrscheinlichkeit von schweren Reaktorschäden
- Eliminierung des Bedarfs an externer Notfallversorgung
- möglichst unattraktive Quelle für Diebstahl oder Abzweigung von spaltbarem Material
- Uran-Anreicherung sollte für den Betrieb nicht nötig sein
- möglichst sicher gegenüber terroristischen Anschlägen
- Containment mit Inertgas gefüllt, um Brände auszuschließen

Sie sind fast alle in den Kriterien nach a. enthalten. Damit sind auch die Kriterien gemäss dem Bericht der RSK³ zu realisieren. Die über die RSK-Forderungen hinausgehenden sicherheitstechnischen Anforderungen an Kernkraftwerke nach Fukushima, nämlich:

- Berstsicherer Primärgaseinschluß,
 - o auch bei Terrorangriffen und
 - o Sabotage von innen und außen;
- Selbsttätige Nachwärmeabfuhr;
- Core - unempfindlich gegen
 - o Reaktivitätsstörungen;
 - o Lufteinbruch;

sind ebenfalls erfüllt. Eine Notkühlung für Brennelemente und gekühltes Abklingbecken sind nicht erforderlich, **da abgezogene Kugelelemente sehr geringe Nachwärme produzieren.**

3. Fazit:

Die inhärente Sicherheit eines HTR-Reaktors macht ihn **unvergleichbar** mit allen bisher laufenden Kernreaktoren. Unfälle wie in Tschernobyl oder Fukushima wären ohne grosse Schäden verlaufen.

Weil alle erdenkbaren Störungen aufgrund der niedrigen Energiedichte und der Konstruktionsmerkmale nur langsam ablaufen, ist genügend Zeit, die richtigen Maßnahmen zur Minderung eines Schadens einzuleiten. Mit den beschriebenen Kriterien ist das angestrebte „Zero-Emissionskonzept auch bei Betriebsstörungen“ erfüllt.

Die Sicherheit aller eingesetzten Komponenten und der Gesamtkonstruktion hat entscheidende Bedeutung. **Die Kriterien für die Gen IV Reaktortypen, soweit bekannt, reichen dazu nicht aus.**

Weil Restrisiken entfallen und damit die betreffenden Schäden auszuschließen sind, gilt: „Der sicherste Reaktor ist auch der wirtschaftlichste Reaktor“.

Eine detaillierte Fassung wird an dieser Stelle in Kürze erscheinen.

schlimmsten möglichen Störfall darf keine unzulässig hohe radioaktive Strahlung oder Kontamination der Umgebung möglich sein. Nuklear-physikalisch gilt dann die Anlage als „inhärent sicher“.

³ Reaktor Sicherheits Kommission