

# Neue Reaktorsysteme innerhalb der Generation IV Initiative

J. Starflinger, T. Schulenberg, IKET; J. Hofmeister, RWE Power AG;  
W. Tromm, Programm Nukleare Sicherheitsforschung

## Einleitung

Das Forschungs- und Entwicklungsprogramm „Generation IV“ ist eine Initiative von 10 Staaten: Argentinien, Brasilien, Kanada, Frankreich, Japan, Südkorea, Südafrika, Schweiz, das Vereinigte Königreich und die Vereinigten Staaten, die sich im Jahr 2000 auf einen Rahmen zur internationalen Zusammenarbeit in der Kerntechnik einigten. Im Juli 2003 unterschrieb die Euratom als 11. Mitglied den Vertrag zur Zusammenarbeit in dem Generation IV International Forum (GIF) [1] und ermöglichte somit allen Euratom-Mitgliedern die Mitarbeit in diesem Forum. Zur Ausarbeitung und Umsetzung der Entwicklung von Generation IV Kernenergiesystemen schlossen sich die oben genannten Länder in dem GIF zusammen. Dabei werden unter der Generation I die frühen Prototyp-Reaktoren der 50er und 60er Jahre verstanden. Generation II bilden die großen, kommerziellen Reaktoren seit den 70er Jahren, die heute noch in Betrieb sind. Generation III werden die fortschrittlichen Reaktoren genannt, die derzeit in neuen Projekten angeboten werden und z. T. bereits in Bau sind, so z. B. in Europa der EPR. Ziel der Generation IV Initiative ist, Kernenergiesysteme einer zukünftigen Generation zu entwickeln, die wettbewerbsfähige und zuverlässige Energieprodukte, also nicht ausschließlich Strom, liefern können. Sie sollen künftige Anforderungen an Sicherheit, Entsorgung, Proliferation und öffentliche Akzeptanz hinreichend erfüllen.

Generation IV umfasst das gesamte System der Kernenergie, von der

Urangewinnung bis zur Entsorgung, damit natürlich auch Kernreaktoren und den nuklearen Brennstoffkreislauf. Dabei besitzen vier politische Ziele höchste Priorität: Nachhaltigkeit, Sicherheit und Zuverlässigkeit, Weiterverbreitungsbarrieren und physikalischer Schutz sowie Wirtschaftlichkeit. Nach einem umfangreichen Evaluationsverfahren wurden schließlich im Juli 2002 die folgenden 6 Kernenergiesysteme durch das GIF unter Beteiligung der Nuclear Energy Agency der OECD, der Europäischen Kommission und der IAEA ausgewählt [2]:

- Gasgekühlte Höchsttemperatur-Reaktorsysteme
- Gasgekühlte schnelle Reaktorsysteme
- Wassergekühlte Reaktorsysteme mit überkritischen Dampfzuständen
- Bleigekühlte schnelle Reaktorsysteme
- Salzschnmelze Reaktorsysteme
- Natriumgekühlte Reaktorsysteme

Am Forschungszentrum Karlsruhe werden zu diesen neuen Kernenergiesystemen vor allem konstruktive, thermohydraulische und neutronenkinetische Untersuchungen durchgeführt, bei denen die Analyse und Bewertung der Sicherheitseigenschaften dieser Anlagen im Vordergrund stehen. Der größte Anteil der Arbeiten bezieht sich dabei zurzeit auf den High Performance Light Water Reactor (HPLWR), ein Leichtwasserreaktor mit überkritischen Dampfzuständen. Sämtliche Arbeiten zu

diesem Projekt sind vollständig Drittmittel finanziert über die Europäische Union und deutsche Industriepartner. Ein kurzer Auszug dieser Arbeiten wird beispielhaft im Folgenden näher erläutert.

## HPLWR

Der HPLWR ist der einzige Leichtwasserreaktor (LWR), der im Rahmen des Generation IV International Forum entwickelt werden soll [2]. Sein Hauptmerkmal ist, dass der Systemdruck mit 25 MPa oberhalb des kritischen Punkts liegt. Weiterhin ist im Vergleich zu vorhandenen LWR eine Aufheizung des Kühlmittels von etwa 200 °C vorgesehen. Dabei ändert sich die Dichte des Kühlmittels über der aktiven Höhe des Kerns um etwa den Faktor 7! Die Aufheizung erfolgt einphasig, wodurch das Risiko einer Siedekrise physikalisch ausgeschlossen wird. Der überkritische „Dampf“ verlässt den Kern mit einer Temperatur von 500 °C und wird, wie bei Siedewasserreaktoren, direkt zur Turbine geleitet. Durch die hohe Austrittsenthalpie können Anlagenwirkungsgrade von über 44 % erreicht werden. Die hauptsächlichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten konzentrieren sich auf den Reaktor selber. So ist beispielsweise die Machbarkeit eines Kerns zu untersuchen, geeignete Materialien für Hüllrohre und Kerneinbauten zu finden und das Sicherheitssystem auf HPLWR-Bedingungen anzupassen. Eine möglichst große Übernahme von Wissen, Methodiken und Komponenten aus der kerntechnischen Industrie und von aktuellen LWR reduziert den Forschungsaufwand auf wesentliche Gebiete.

## Reaktordruckbehälter

Innerhalb des 5. EU-Rahmenprogramms [3] wurde ein HPLWR-Reaktordruckbehälter konzipiert, der in Abb. 1 dargestellt ist. Ein Teilstrom des Speisewassers wird dabei über den oberen Teil des Druckbehälters (oberes Plenum) in Wasserkästen und in den Spalt zwischen den Brennelementen geleitet (siehe Abb. 2). Der andere Teil-

strom fließt durch den Downcomer und Reflektor ins untere Plenum, wo es sich mit dem von oben kommenden Wasser aus den Spalten und den Wasserkästen vermischt. Anschließend strömt das Kühlmittel durch den Kern nach oben und erreicht seinen überhitzten Zustand schließlich im Dampfplenum, von wo aus es den Druckbehälter durch ein koaxiales Doppelrohr verlässt.

## Brennelement-Konstruktion

Abb. 2 zeigt beispielhaft ein quadratisches Brennelement für den Einsatz in einem HPLWR [4]. Diese Brennelemente werden zu 9er-Bündeln zusammengefasst, um eine wirtschaftliche konstruktive Lösung zu ermöglichen, welche gleichzeitig die Verwendung herkömmlicher LWR-Steuerstab-

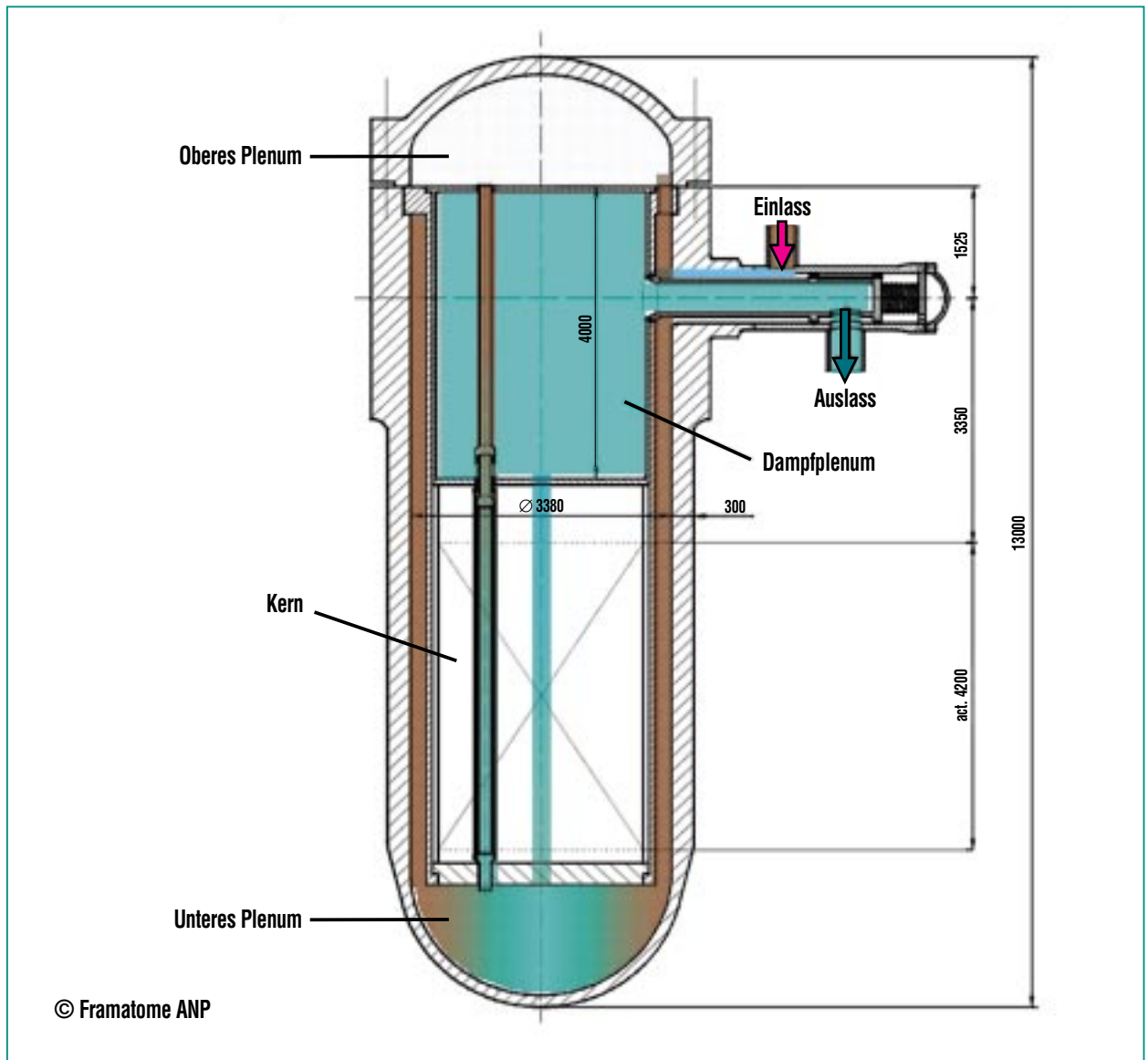
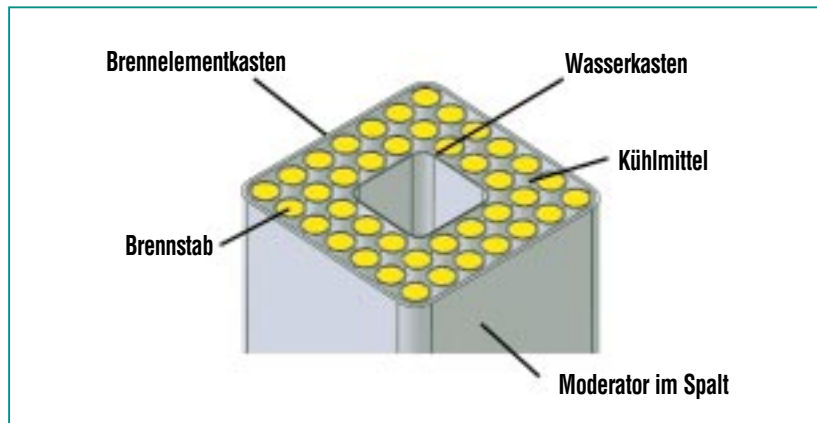


Abb. 1: HPLWR-Reaktordruckbehälter-Konzept [3].

triebe erlaubt (siehe Abb. 3). Das komplette Brennelementbündel umfasst die zuvor genannten neun Brennelemente (Abb. 2), ein Kopfstück und ein Fußstück. Das Kopfstück selber besteht aus einem Übergangselement, von quadratisch auf rund, um bessere Dichteigenschaften zu gewährleisten, einem Fensterelement, durch das der heiße Frischdampf das Brennelement verlässt, und einer Kopfstückplatte. Die in Abb. 3 im Fensterelement dargestellten grauen Leitungen sind Verlängerungen der Brennelementwasserkästen zum oberen Plenum, durch die kaltes Wasser von oben in die Brennelemente strömt. Dieser gemeinsame Konstruktionsentwurf von RWE und Forschungszentrum Karlsruhe zeigt, wie durch das nach unten fließende, kalte Wasser eine ausreichende Moderation gerade im oberen Bereich des aktiven Kerns, wo eine geringe Kühlmitteldichte vorliegt, erreicht werden kann. Eine Strömungsführung ohne un-



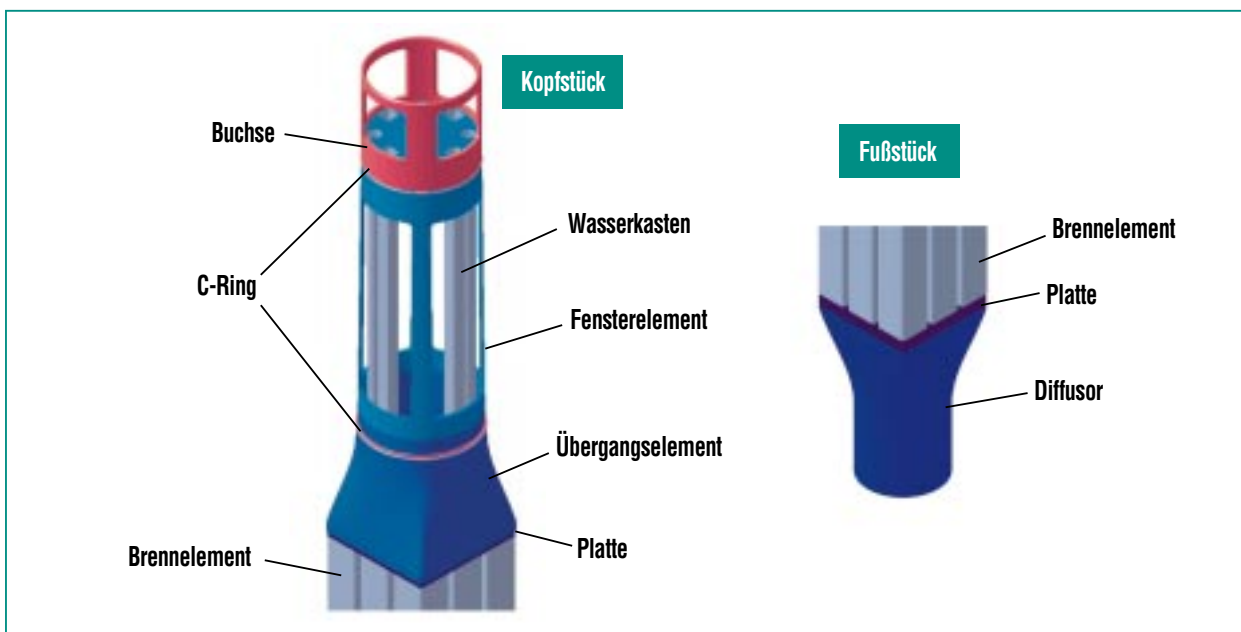
**Abb. 2: Quadratisches zweireihiges Brennelement [4].**

zulässige Leckagen im Kern wird mittels C-Ringen am Kopfstück realisiert. Diese Konstruktion bildet derzeit die Grundlage für weitere Kernstudien.

### Beitrag zum Kompetenzerhalt

Der HPLWR eignet sich besonders gut als Thema zum Kompetenzerhalt in der Kerntechnik. Studenten und Doktoranden sind be-

sonders motiviert, einen Beitrag zur Entwicklung eines neuen Reaktors zu leisten. Sie lernen dabei Methoden und Techniken wie zum Beispiel der Umgang mit Sicherheitsanalysecodes, die einerseits auf den HPLWR und andererseits auf existierende LWR angewendet werden können. Junge Ingenieure, Physiker oder Chemiker sind mit geeigneten HPLWR-Themenstellungen bestens für eine



**Abb. 3: Kopfstück und Fußstück des Brennelementbündels [4].**

spätere Aufgabe in der kerntechnischen Industrie vorbereitet.

### Europäisches Forschungsprogramm

Seit September 2006 sind die Arbeiten zum HPLWR ein Beitrag zu einem Europäischen Forschungsprojekt, HPLWR Phase 2 mit einer Laufzeit von 42 Monaten, das vom Forschungszentrum Karlsruhe koordiniert wird.

Übergeordnetes Ziel dieses Projekts ist eine Bewertung der offenen, wissenschaftlichen Fragestellungen und der technischen Machbarkeit des HPLWR im Hinblick auf künftige Einsatzmöglichkeiten. Dazu haben sich sieben Forschungszentren aus sieben europäischen Ländern, zwei Hochschulen und ein Industriepartner geeinigt, Konzepte und Vorschläge aus einem früheren Projekt zum HPLWR weiter zu vertiefen.

Ein Aus- und Weiterbildungsprogramm für Doktoranden und Studenten ergänzt das Projekt. Durch seine Nähe zur konventionellen Leichtwasserreaktor-Technologie ist dieses Projekt bestens geeignet, in Europa die Kompetenz in der Kerntechnik zu erhalten, die bei Herstellern und Betreibern zum weiteren Betrieb ihrer Kernkraftwerke benötigt wird.

### Literatur

- [1] T. Schulenberg, L. Behnke, J. Hofmeister, M. Löwenberg, „Was ist Generation IV?“ FZKA 6967, Forschungszentrum Karlsruhe, 2004
- [2] U.S. DOE and Generation IV International Forum, „A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems“, GIF-002-00, Dec. 2002
- [3] D. Squarer, T. Schulenberg, D. Struwe, Y. Oka, D. Bittermann, N. Aksan, C. Maraczy, R. Kyrki-Rajamäki, A. Souyri, P. Dumaz, „High Performance Light Water Reactor“, *Nuclear Engineering and Design* 221 (2003) 167–180
- [4] J. Hofmeister, T. Schulenberg, J. Starflinger, „Auslegung eines Brennelements für einen High Performance Light Water Reactor“, *Jahrestagung Kerntechnik 2006, Aachen, 2006*