

Weitere Schritte, Maßnahmen und Untersuchungen in Zusammenhang mit dem AVR-Versuchsreaktor

Darmstadt,
04.02.2015

Autor

Dipl.-Phys. Christian Küppers

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 17 71
79017 Freiburg

Hausadresse

Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg
Telefon +49 761 45295-0

Büro Berlin

Schicklerstraße 5-7
10179 Berlin
Telefon +49 30 405085-0

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95
64295 Darmstadt
Telefon +49 6151 8191-0

info@oeko.de
www.oeko.de

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 1. | Einleitung | 5 |
| 2. | Weitere notwendige Schritte, Maßnahmen und Untersuchungen beim Umgang mit dem Versuchsreaktor AVR bis zum vollständigen Abbau | 6 |
| 2.1. | Derzeitige Situation | 6 |
| 2.1.1. | Zwischenlager für den Reaktorbehälter | 6 |
| 2.1.1.1. | Gasbildung im Reaktorbehälter | 6 |
| 2.1.1.2. | Erdbebenauslegung | 7 |
| 2.1.2. | Kontamination des Geländes | 8 |
| 2.2. | Weitere Schritte, Maßnahmen und Untersuchungen | 8 |
| 2.2.1. | Zwischenlager für den Reaktorbehälter | 8 |
| 2.2.2. | Kontamination des Geländes | 9 |
| 3. | Weitere notwendige Schritte, Maßnahmen und Untersuchungen zur Entsorgung der bestrahlten Kugelbrennelemente | 10 |
| 3.1. | Derzeitige Situation | 10 |
| 3.2. | Weitere Schritte, Maßnahmen und Untersuchungen | 11 |
| 4. | Weitere notwendige Schritte, Maßnahmen und Untersuchungen zur Bewertung des Kugelhaufenreaktorkonzepts | 13 |
| 4.1. | Derzeitiger Kenntnisstand | 13 |
| 4.1.1. | Fließverhalten der Kugelbrennelemente | 13 |
| 4.1.2. | Temperaturen im Core | 13 |
| 4.1.3. | Freisetzungen von Spaltprodukten aus den Brennelementkugeln | 13 |
| 4.1.4. | Verhalten eines Kugelhaufenreaktors bei Stör- und Unfällen | 14 |
| 4.2. | Weitere Schritte, Maßnahmen und Untersuchungen | 15 |
| 5. | Zusammenstellung der empfohlenen Schritte, Maßnahmen und Untersuchungen | 16 |
| | Literaturverzeichnis | 17 |

1. Einleitung

Im Jahr 1959 schlossen sich 15 kommunale Elektrizitätsversorgungsunternehmen mit dem Ziel, die Machbarkeit und Funktionsfähigkeit eines gasgekühlten, graphit-moderierten Hochtemperaturreaktors zu demonstrieren, zur Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor GmbH (AVR GmbH) zusammen. Der AVR-Versuchsreaktor wurde in unmittelbarer Nachbarschaft zur damaligen Kernforschungsanlage Jülich (KFA) (seit 1990: Forschungszentrum Jülich (FZJ) GmbH) errichtet und von 1967 bis 1988 betrieben. Nach der Stilllegung des AVR war zunächst der „Sichere Einschluss“ der Anlage vorgesehen. Nicht mehr benötigte Anlagenteile wurden nach entsprechenden Genehmigungen ausgebaut und die Brennelemente entfernt. Die Übernahme der AVR GmbH unter das Dach des bundeseigenen Energiewerke Nord (EWN) Verbundes im Mai 2003 führte zu einer Änderung der Stilllegungsstrategie hin zum vollständigen Abbau der Anlage mit dem Ziel einer anderweitigen Nutzung des Geländes.

Die Fraktion Bündnis 90/Die Grünen im Landtag von Nordrhein-Westfalen hat das Öko-Institut beauftragt, die weiteren notwendigen Schritte, Maßnahmen und Untersuchungen in Zusammenhang mit dem Versuchsreaktor AVR bis hin zur Schaffung der „Grünen Wiese“ und Entsorgung der Abfälle zusammen zu stellen. Außerdem ist zu klären, inwieweit Untersuchungen zur Bewertung des Kugelhaufenreaktorkonzepts benötigt werden.

Die Stellungnahme gliedert sich in die folgenden Aspekte, für die jeweils die weiteren notwendigen Schritte, Maßnahmen und Untersuchungen dargelegt werden:

- Umgang mit dem Versuchsreaktor AVR bis zum vollständigen Abbau und der Sanierung des Anlagengeländes (Kapitel 2),
- Entsorgung der bestrahlten Kugelbrennelemente (Kapitel 3),
- Bewertung des Kugelhaufenreaktorkonzepts (Kapitel 4).

Zu den identifizierten notwendigen Schritten und Maßnahmen wird jeweils herausgearbeitet, welche Einrichtung für die Einleitung und Durchführung zuständig ist. Bei durchzuführenden Untersuchungen wird dargelegt, welche Institutionen für die Durchführung in Frage kämen. Außerdem erfolgt eine Priorisierung der Maßnahmen und Untersuchungen.

Die identifizierten notwendigen Schritte, Maßnahmen und Untersuchungen sind in Kapitel 5 zusammengefasst.

2. Weitere notwendige Schritte, Maßnahmen und Untersuchungen beim Umgang mit dem Versuchsreaktor AVR bis zum vollständigen Abbau

Ursprünglich hatte der AVR in den gesicherten Einschluss überführt werden sollen, um ihn nach einigen Jahrzehnten Abklingzeit abzubauen. Dazu wurde am 9.3.1994 die Genehmigung 7/15 AVR erteilt /MWMT 1994/. Im damaligen Sicherheitsbericht wurde von einem Beginn der vollständigen Beseitigung 20 Jahre bis 30 Jahre nach Außerbetriebnahme ausgegangen /AVR 1993/.

Im Jahr 1999 wurde die Kontamination des Erdreichs unterhalb des Reaktorgebäudes, der Warmen Werkstatt und in einer dem Reaktorgebäude vorgelagerten Fläche erkannt. Um das Gelände sanieren zu können und so die weitere Ausbreitung von radioaktiven Stoffen zu verhindern, ist der vollständige Abbau des Reaktorgebäudes erforderlich, so dass der vollständige Abbau der Anlage geplant wurde. Er wurde von der AVR GmbH mit Schreiben vom 25.02.2005 beantragt. Es wurde ab 2006 eine Materialschleuse errichtet, durch die der zuvor (Ende 2008) mit Porenleichtbeton verfüllte Reaktorbehälter aus dem Reaktorgebäude gehoben werden und gekippt werden kann. Anschließend kann er in ein auf dem Gelände der FZJ GmbH, etwa 200 m vom AVR-Gelände entfernt, errichtetes Zwischenlager transportiert werden. Das Verfüllen mit Porenleichtbeton dient der Fixierung der kontaminierten Stäube im Reaktorbehälter, bevor er in einigen Jahrzehnten zerlegt und endgelagert werden könnte.

2.1. Derzeitige Situation

2.1.1. Zwischenlager für den Reaktorbehälter

Das Zwischenlager für den Reaktorbehälter sowie die Trasse zum Transport des Behälters in das Lager wurden errichtet. Das Herausheben des Reaktorbehälters aus seiner Einbauposition hat sich gegenüber der ursprünglichen Planung stark verzögert, erfolgte aber schließlich im November 2014. Der Transport des Reaktorbehälters ins Zwischenlager ist für das Frühjahr 2015 geplant.

Der Betrieb des Behälterlagers wurde nach § 7 StrlSchV genehmigt, da es sich um einen Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen, nicht aber mit Kernbrennstoffen im Sinne des Atomgesetzes handelt. Zuständige Genehmigungsbehörde ist in diesem Fall die Bezirksregierung Köln.

2.1.1.1. Gasbildung im Reaktorbehälter

Schon in den Genehmigungsverfahren für den Abbau des AVR und für die Errichtung des Zwischenlagers für den Reaktorbehälter war eine Wasserstoffbildung durch Aluminiumbestandteile in Anstrichen im Behälterinnern und ein dadurch bedingter Druckanstieg erwartet worden. Um den möglichen Überdruck auf 100 mbar zu begrenzen wurde eine Drucküberwachung und ein Abpumpen in Gasflaschen bei 100 mbar Überdruck vorgesehen. Das abgepumpte Gas sollte über das Forschungszentrum Jülich (FZJ) entsorgt werden. Mit diesen Bedingungen wurde die Genehmigung für das Behälterzwischenlager erteilt.

Nachdem der Behälter mit Porenleichtbeton verfüllt worden war wurden weitere Gasproben genommen, die neben Wasserstoff auch Kohlenstoff-14 aufwiesen. Als Ursache wurde eine Freisetzung von Tritium und Kohlenstoff-14 durch Eindringen von Wasserstoff in Graphit und Kohlenstein gefunden. Daraufhin wurde ein Änderungsgenehmigungsverfahren für das Zwischenlager eingeleitet, um zum einen Höchstwert der Konzentration für radioaktive Stoffe in der Hallenluft festzulegen und zum anderen eine entsprechende Überwachung zu installieren. Es wird davon ausgegangen, dass ein Austritt der radioaktiven Stoffe über Undichtigkeiten des Behälters erfolgen kann.

Die mögliche Freisetzungsmenge und Kontamination abgepumpter Luft ist als sehr niedrig zu erwarten, so dass dies keine bedeutsame Verschlechterung der radiologischen Situation darstellt. Die Gasmenge und Kontamination des Gases war über Messungen abgeschätzt worden, die durchgeführt werden konnten nachdem der mit Porenleichtbeton verfüllte Reaktorbehälter abgedichtet war, aber noch im Schutzbehälter stand. Der Behälter wurde mit einem Druck von 100 mbar beaufschlagt und die Abluft des Schutzbehälters untersucht. Konservativ wurde sämtliche gemessene Aktivität dann einer Freisetzung aus dem Reaktorbehälter zugesprochen, trotz anderer wesentlicher Quellen im Schutzbehälter. Es ist allerdings durchaus möglich, dass sich inzwischen kein ausreichender Druck mehr aufbaut und die Grenze von 100 mbar im Laufe der Zwischenlagerung des Reaktorbehälters nie erreicht werden wird.

2.1.1.2. Erdbebenauslegung

Der FZJ-Standort und sein Umfeld befinden sich im westlichen Bereich der Niederrheinischen Bucht, einem seit dem Tertiär aktiven Senkungsgebiet mit ausgeprägter Bruchschollentektonik. Der paläozoische und ältere Festgesteinsuntergrund sinkt hier langsam gegenüber dem Rahmen des Rheinischen Schiefergebirges ab. Die Senkungsbewegungen erfolgten örtlich und zeitlich ungleichmäßig, was zur Bruchschollentektonik führt. Die südliche Niederrheinische Bucht gliedert sich in die drei tektonischen Hauptschollen Rur-Scholle, Erft-Scholle und Kölner Scholle. Von besonderer Bedeutung für den Standort und sein Umfeld ist eine untergeordnete tektonische Einheit, die sogenannte Jülicher Zwischenscholle. Der FZJ-Standort befindet sich vollständig auf dieser schmalen Zwischenscholle, die hier nur eine Breite von etwa 3 km aufweist. Die Jülicher Zwischenscholle wird von etwa 700 m bis 1.200 m mächtigen tertiären und quartären Lockergesteinsschichten (Sande, Kiese, Tone etc.) aufgebaut, wobei sich das FZJ-Gelände im Bereich der maximalen Lockergesteinsmächtigkeit befindet /EWN 2008/.

Der Bereich der westlichen Niederrheinischen Bucht gehört neben dem Hohenzollerngraben bei Stuttgart zu den seismisch aktivsten Gebieten Deutschlands. Das jüngste Erdbeben von 1992 bei der niederländischen Stadt Roermond wurde in der gleichen bruchtektonischen Scholleneinheit ausgelöst. Dieses Beben erreichte eine Nahbeben-Magnitude von 5,9 auf der Richter-Skala und eine makroseismische Intensität der Stufe VII. Im ca. 47 km entfernten FZJ-Standortbereich wurde noch eine makroseismische Intensität der Stufe V auf der MSK-Skala erreicht /EWN 2008/.

Der Nachweis der Standsicherheit im Erdbebenfall wurde für das Zwischenlager und den Reaktorbehälter im Genehmigungsverfahren gemäß DIN 4149 "Bauten in Deutschen Erdbebengebieten" (Ausgabe April 2005) und unter Berücksichtigung des Bodenantwortspektrums für den Standort FZJ des geologischen Dienstes NRW vom 22. April 2004 geführt. Die allgemeinen Kenngrößen des Sicherheitserdbebens wurden auf der Grundlage der stärksten historischen Erdbeben im Umkreis von 200 km, den Erdbeben von Düren 1756 und Tollhausen 1878, festgelegt. Ausgehend von diesen beiden Erdbebenereignissen wurde für den Standort Jülich eine makroseismische Intensität von VIII auf der MSK-Skala und eine Nahbeben-Magnitude von 6,0 angesetzt. Als Eintrittsrate für ein Erdbeben der Intensität VIII wurde von $10^{-3}/a$ ausgegangen, wobei diese Intensität innerhalb von 100 Jahren mit 90%iger Wahrscheinlichkeit nicht überschritten werden soll. Eine Auslegung entsprechend des KTA-Regelwerks ist nicht erfolgt, da es sich bei der Zwischenlagerung des Reaktorbehälters um keinen Umgang mit Kernbrennstoffen oder mit kernbrennstoffhaltigen Abfällen im Sinne des Atomgesetzes handelt.

In /EWN 2008/ wird ausgeführt, dass Erdbeben mit den genannten Stärken in der Niederrheinischen Bucht Schäden an Gebäuden, die nach den einschlägigen Baunormen errichtet wurden, verursachen können. Es ist mit Rissen in den Wänden, Abbrüchen von Schornsteinen und Aus-

brüchen von Mauerwerk bei nicht ausreichend ausgesteiften Wänden zu rechnen, nicht jedoch mit dem völligen Einsturz dieser Gebäude.

2.1.2. Kontamination des Geländes

Als Folge eines Eindringens von Radioaktivität im Jahr 1978 in das unterhalb des Reaktorgebäudes liegende Betonkammersystem hat sich durch Austausch mit dem Grundwasser in unmittelbarer Nähe des Reaktorgebäudes und in einem gewissen Bereich darüber hinaus Strontium-90-Aktivität im Erdreich des AVR-Geländes ausgebreitet. Auch Kontaminationen des Erdreiches durch Undichtigkeiten des Chemiekansalsystems sind nicht vollständig auszuschließen /AVR 2008/. Diese Kontamination ist erst aufgrund eines Ereignisses am 14.01.1999, in dessen Folge überprüft wurde, ob kontaminiertes Wasser in den Regenwasserkanal gelangt sein konnte, erkannt worden.

Es wurden für den Abbau des AVR drei Kategorien von Verdachtsflächen definiert, die vor einer Entlassung des Geländes aus dem Geltungsbereich des Atomrechts besonderen Analysen zu unterziehen sind /AVR 2008/:

- Kategorie A: Der unmittelbare Bereich um das Reaktorgebäude und Teile der warmen Werkstatt sowie unterhalb dieser Gebäude, der durch einen Abstand von 2 m von der Gebäudeaußenwand begrenzt wird.
- Kategorie B: Der Bereich, der durch das Profil des Grundwasserstroms bestimmt wird.
- Kategorie C: Alle vom Reaktorgebäude und der warmen Werkstatt ausgehenden Rohrleitungen, die in den Chemiekanal münden sowie der Chemiekanal selbst.

Die Verdachtsflächen der Kategorien A und C sollen beim Abbau des Reaktorgebäudes und der Warmen Werkstatt entfernt werden. Verdachtsflächen der Kategorie B sollen bis zur Entlassung des AVR-Geländes aus der atomrechtlichen Überwachung bestehen bleiben.

Gemäß dem Diskussionsstand im Genehmigungsverfahren zum Abbau des AVR /AVR 2008/ sollte die Bodenkontamination mit Radionukliden unterhalb der Warmen Werkstatt und des Reaktorgebäudes sowie im Bereich der Verdachtsflächen unter atomrechtlicher Aufsicht nach § 29 StrlSchV saniert werden. Außerdem gibt es eine eventuelle Bodenkontaminationen durch Kohlenwasserstoffe im Bereich der unterirdischen Tanks, die gemäß Bundesbodenschutzgesetz zu sanieren wären. Eventuell kontaminiertes Erdreich soll ausgekoffert und auf einer geeigneten Deponie beseitigt werden.

2.2. Weitere Schritte, Maßnahmen und Untersuchungen

2.2.1. Zwischenlager für den Reaktorbehälter

Das Zwischenlager für den Reaktorbehälter ist als nach § 7 StrlSchV zu genehmigende Anlage nach geringeren Anforderungen ausgelegt, als sie für die weitere Lagerung der Kugelbrennelemente des AVR am Standort gelten. Allerdings ist auch bei einem Erdbeben, das beispielsweise zum Einsturz des Lagergebäudes und abstürzenden Trümmern auf den mit Porenleichtbeton verfüllten Reaktorbehälter führen würde, kaum mit erheblichen Freisetzungen radioaktiver Stoffe zu rechnen. Durch das Verfüllen des Behälters sind die staubförmig vorliegenden Radionuklide gut gebunden. Insofern besteht in dieser Hinsicht kein Handlungsbedarf.

Die Freisetzungen von gasförmigen Nukliden aus dem Reaktorbehälter werden auch in Zukunft aller Voraussicht nach sehr gering sein. Auch in dieser Hinsicht besteht daher zur Zeit kein Hand-

lungsbedarf. Die **weitere Entwicklung hinsichtlich der Gasentwicklung im Reaktorbehälter sollte aber verfolgt werden.**

Die Einlagerung des Reaktorbehälters in das Zwischenlager stellt noch nicht dessen endgültige Entsorgung dar. Dazu ist als nächster Schritt eine Anlage zu planen, zu errichten und zu betreiben, in der der Reaktorbehälter so zerlegt und konditioniert werden kann, dass er in einem Endlager annahmefähig ist. Die im Hinblick auf die Endlagerung relevanten Randbedingungen sind zur Zeit nicht geklärt. **Obwohl die Zerlegung des Reaktorbehälters erst in einigen Jahrzehnten anstehen wird, ist es sinnvoll, die weitere Entwicklung im Auge zu behalten, um zu vermeiden, dass sich die endgültige Entsorgung des Reaktorbehälters unnötig verzögert. Um Verzögerungen zu vermeiden ist insbesondere frühzeitig (in 10 bis 20 Jahren) mit der Planung der Zerlegetechnik und der entsprechenden Anlage zu beginnen.**

2.2.2. Kontamination des Geländes

Mit dem Abschluss des vollständigen Abbaus des AVR wird derzeit erst für das Jahr 2022 gerechnet. Die Kontaminationen des Bodens an und unter Gebäuden des AVR würden nach bisheriger Planung erst nach Abbau der Gebäude entfernt. Vorstellbar wäre aber auch, einen Teil der Kontamination bereits vorher zu beseitigen. Es wäre ebenfalls möglich, eine Ausbreitung der Kontamination mit dem Grundwasser durch Barrieren oder Pumpen zu vermeiden oder zu reduzieren. Solche Maßnahmen wären dann sinnvoll, wenn sich tatsächlich die Kontamination weiter ausbreitet. Die Beurteilung der eventuellen Ausbreitung der Kontamination setzt ein Monitoring voraus, das über die Beprobungen von Grundwasser an verschiedenen Brunnen in der Umgebung hinausgehen würde. Die bisherigen Untersuchungen sind zwar geeignet, zu überwachen, ob sofortige Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung getroffen werden müssen, lassen aber keine Beurteilung zu, ob nicht durch Maßnahmen ein zukünftiger Sanierungsaufwand reduziert werden kann. **Es sollte ein verbessertes Monitoring der Kontamination von Boden und Grundwasser eingerichtet werden. Inwieweit vorgezogene Maßnahmen zur Sanierung technisch umgesetzt werden könnten und die Beseitigung eines relevanten Anteils der Gesamtkontamination des Erdreichs am AVR gewährleisten könnten, müsste auf dieser Basis näher geprüft werden. In dieser Hinsicht sollten durch die atomrechtliche Aufsichtsbehörde Untersuchungen veranlasst werden.**

Wie die Freigabe des AVR-Geländes durchgeführt werden soll, ist derzeit noch nicht festgelegt. Die Strontium-90-Kontamination bedeutet hier einen enormen Messaufwand, falls die Freigabemessungen mit der sonst üblichen Dichte und unter Anwendung der sonst üblichen maximalen Mittelungsmassen durchgeführt werden sollen. Es ist daher zu erwarten, dass ein Kompromiss zwischen üblichem Grad der Nachweissicherheit und Aufwand gefunden werden soll. Das übliche weitere Vorgehen besteht darin, dass die AVR GmbH vor dem Abschluss des vollständigen Abbaus ein Konzept entwickelt und der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde vorlegt, die dies dann unter Zuziehung ihrer Sachverständigen beurteilt. **Die Entwicklung hinsichtlich des Konzepts zur Freigabe des AVR-Geländes sollte weiter verfolgt werden, um bei Vorliegen eines Konzeptvorschlags diesen unabhängig von der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde und ihren Sachverständigen beurteilen zu können.**

3. Weitere notwendige Schritte, Maßnahmen und Untersuchungen zur Entsorgung der bestrahlten Kugelbrennelemente

3.1. Derzeitige Situation

Die Brennelemente des AVR werden durch das FZJ im AVR-Behälterlager (AVR-BL) zwischengelagert. Die Lagerung erfolgt in 152 Transport- und Lagerbehältern der Bauart CASTOR® THTR/AVR. Die Genehmigung für diese Lagerung war bis zum 30.06.2013 befristet. Bis 01.07.2014 erfolgt die Lagerung dann auf der Basis von zwei zeitlich befristeten atomaufsichtlichen Anordnungen des Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk des Landes Nordrhein-Westfalen (MWEIMH) nach § 19 Abs. 3 AtG. Am 02.07.2014 wurde durch das MWEIMH die unverzügliche Entfernung der Kernbrennstoffe aus dem AVR-BL angeordnet. In ihrer Begründung weist die Atomaufsicht darauf hin, dass ihr das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) als zuständige Genehmigungsbehörde mitgeteilt habe, dass aufgrund neuer Erkenntnisse zur Erdbebensicherheit eine Prognose zum Abschluss des laufenden Genehmigungsverfahrens nicht mehr möglich sei /FZJ 2014/. Diese Anordnung forderte vom FZJ auch die Erarbeitung eines „Detailkonzepts zur Entfernung der Kernbrennstoffe aus dem AVR-Behälterlager in Jülich“. In diesem Detailkonzept wurden drei Varianten zur Entfernung der Kernbrennstoffe aus dem AVR-BL betrachtet: Neubau eines Zwischenlagers in Jülich, Transport in das Transportbehälterlager Ahaus (TBL-A) und Transport in die USA. Das MWEIMH hat Sachverständige mit der Begutachtung des Detailkonzepts beauftragt. Der Entwurf eines Gutachtens soll gemäß den Vergabeunterlagen bis 31.01.2015 vorgelegt werden.

Das Forschungszentrum Jülich müsste als Voraussetzung für die Erteilung einer Genehmigung für die weitere Aufbewahrung der AVR-Brennelemente im bestehenden AVR-Behälterlager in Jülich insbesondere Nachweise zum Prüfpunkt Erdbebensicherheit erbringen. Hierbei wird von der Genehmigungsbehörde (BfS) ein theoretisch denkbare Extremerdbeben (Wiederkehrperiode 100.000 Jahre) unterstellt, auf dessen Basis das Forschungszentrum Jülich nach dem entsprechenden technischen Regelwerk den Nachweis der Erdbebensicherheit für das bestehende Zwischenlager erbringen muss. Diese neuen Anforderungen liegen deutlich über den zum Zeitpunkt des Baus und der Inbetriebnahme des AVR-Behälterlagers gültigen Anforderungen nach damaligem Stand von Wissenschaft und Technik /FZJ 2014/.

Das Forschungszentrum Jülich und seine Gesellschafter, die Bundesrepublik Deutschland und das Land NRW, prüfen derzeit gemeinsam mit dem amerikanischen Department of Energy (DOE) die Option, die Brennelemente aus dem stillgelegten AVR-Versuchsreaktor in das Herkunftsland des Kernbrennstoffs, die USA, zurück zu transportieren. Das DOE hat sich grundsätzlich offen dafür gezeigt, die AVR-Brennelemente aus Jülich zu übernehmen. In der Vergangenheit haben die USA bereits mehrfach bestrahlte Kernbrennstoffe amerikanischen Ursprungs aus Forschungsreaktoren im Rahmen ihrer Non-Proliferationspolitik zurückgenommen, um jegliche Gefahr der weiteren Verbreitung dauerhaft zu vermeiden. Im Rahmen der Nuclear Security Summits 2010 in Washington und 2012 in Seoul haben die USA bekräftigt, dass sie verstärkt bemüht sind, die Verbreitung hoch angereicherter Kernbrennstoffs zu minimieren /FZJ 2014/.

Das US-Energieministerium DOE hat gemeinsam mit dem Bundesministerium für Bildung und Forschung und dem Ministerium für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (im Auftrag der Landesregierung) im April 2014 eine Absichtserklärung zur Rücknahme der Brennelemente in die USA unterzeichnet. Dies ist lediglich ein erster Schritt hin zu einem möglichen Rücktransport des Kernbrennstoffs in die USA. Ein endgültiger Vertrag zur Rücknahme kann erst erfolgen, wenn an der Savannah River Site in South Carolina, wohin die Brennelemente transportiert werden sollen, die notwendigen Voraussetzungen für eine Annahme geschaffen wor-

den sind. Hierzu müssen unter anderem zahlreiche technische Fragen abschließend geklärt werden. Diese Prüfungen sind noch nicht abgeschlossen. Die hierfür notwendigen Untersuchungen in den USA werden vom Forschungszentrum Jülich unterstützt /FZJ 2014/.

Die Anforderungen an die Auslegung von Zwischenlagern für abgebrannte Brennelemente wurden in den letzten Jahren verschärft, insbesondere im Hinblick auf terroristische Angriffe. Beim AVR-BL kommt noch hinzu, dass die Neubeurteilung der Erdbebengefährdung am Standort Jülich deutlich höhere Anforderungen ergibt, wenn auch die Standsicherheit bei einer erdbebenbedingten Bodenverflüssigung der wasserhaltigen, sandigen Böden gewährleistet werden soll. Bei einem Neubau wären entsprechende Gründungsmaßnahmen erforderlich und grundsätzlich technisch realisierbar.

Der Aufsichtsrat des FZJ hat am 16.05.2012 beschlossen, zur Prüfung der rechtlichen und tatsächlichen Möglichkeiten eines Neubaus eines Zwischenlagers in Jülich vorbereitend eine Umweltverträglichkeitsuntersuchung als Grundlage für eine mögliche Umweltverträglichkeitsprüfung zu veranlassen. Über das Ergebnis dieser Umweltverträglichkeitsuntersuchung wurde der Aufsichtsrat am 14.05.2014 informiert. Danach ist zusammenfassend festzustellen, dass die Umweltauswirkungen des Vorhabens "Optionalen Neubaus eines Lagers für die im Forschungszentrum Jülich lagernden AVR-Behälter" grundsätzlich als tolerierbar angesehen werden und das Vorhaben im Gesamtergebnis gutachterlich als umweltverträglich beurteilt wird /FZJ 2014/.

3.2. Weitere Schritte, Maßnahmen und Untersuchungen

Neben den drei durch die FZJ GmbH im „Detailkonzept zur Entfernung der Kernbrennstoffe aus dem AVR-Behälterlager in Jülich“ untersuchten Varianten wäre prinzipiell auch die Variante „Erüchtigung des AVR-BL“ in Betracht zu ziehen.

Bewertungsmaßstäbe für die Varianten des Detailkonzepts und gegebenenfalls weiterer Varianten können insbesondere sein:

- Zeitbedarf bis zur Räumung des AVR-BL,
- Unwägbarkeiten bei verschiedenen Varianten (z. B. bei Genehmigungsverfahren und technischen Realisierungen in den USA),
- radiologische Risiken (z. B. im Vergleich zwischen einem Transport ins TBL-A nach Ahaus und einem Transport in die USA mit dortiger Wiederaufarbeitung),
- Wechselwirkungen mit der Entsorgung der Brennelemente des THTR (wenn eine gemeinsame Lösung der Entsorgung nicht mehr möglich wäre),
- Proliferationsaspekte der Entsorgungsalternativen.

Der Schritt „Erarbeitung eines Konzepts zur Entfernung der Kernbrennstoffe aus dem AVR-Behälterlager in Jülich“ ist bereits erfolgt. Die Prüfung dieses Konzepts ist ebenfalls durch ein Vergabeverfahren in die Wege geleitet. Das Prüfungsergebnis wird voraussichtlich Anfang Februar 2015 vorliegen.

Um eine unter allen Gesichtspunkten optimierte Lösung der Entsorgung der Brennelemente des AVR zu erreichen, sollte das Prüfungsergebnis des Detailkonzepts (vorliegend voraussichtlich Anfang Februar 2015) kritisch analysiert werden. Auf der Basis einer solchen Analyse können durch die Landtagsfraktion Die Grünen/Bündnis 90 entsprechende politische Aktionen eingeleitet werden, sei es zur Stützung der raschen Umsetzung von Empfehlungen des Prüfungsergebnisses oder durch Lenkungen, um zu einer optimaleren Lösung zu gelangen. Eine solche kriti-

sche Analyse könnte von verschiedenen Sachverständigenorganisationen vorgenommen werden, unter anderem durch das Öko-Institut. Hier sollte auch auf die Förderung der Akzeptanz in der Öffentlichkeit abgezielt werden. Das bisherige Vorgehen, bei dem keine termingerechte Lösung erreicht werden konnte, obwohl das Auslaufen der Genehmigung für das AVR-BL sowie die mangelnde Auslegung des AVR-BL nach neueren Kriterien seit Jahren bekannt waren, hat dem Vertrauen in der Öffentlichkeit geschadet.

Falls eine Abgabe der Brennelemente in die USA erfolgt, so würden sie dort aufbereitet, um das enthaltene Uran zurück zu gewinnen. Falls die verbleibenden radioaktiven Abfälle zurück genommen werden müssten, sollten sie in einem zukünftigen Endlager in Deutschland annehmbar sein. Die Entsorgung der Brennelemente wäre dann ohne weitere Maßnahmen realisierbar.

Falls die Brennelemente in Deutschland verbleiben, muss für sie noch eine Technik zur endlagergerechten Behandlung entwickelt werden. Dies gilt in gleicher Weise für die Brennelemente des THTR, für die keine Planung der Bundesregierung besteht, sie in die USA zu verbringen /BMBF 2014/. Dabei ist grundsätzlich die Frage zu klären, welche Aspekte die Entsorgung der Kugelbrennelemente mit sich bringt, die bei anderen Brennelementen nicht bestehen. Insbesondere ist zu klären, ob eine vorherige Wiederaufarbeitung für die Endlagerung erforderlich ist.

Da die Brennelemente in ein zukünftiges Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle einzulagern wären, müsste eine solche Technik erst in einigen Jahrzehnten zur Anwendung kommen. Es ist aber sinnvoll, eine solche Technik zu entwickeln, solange in Deutschland noch qualifiziertes Personal für diese Aufgabe in ausreichendem Umfang zur Verfügung steht. Aufgrund der Befassung mit dem AVR und seinem Brennstoff liegen solche Erfahrungen bei der FZJ GmbH vor. **Da die THTR-Brennelemente in Deutschland verbleiben sollen, sollten beim FZJ Entwicklungsarbeiten zur endlagergerechten Konditionierung der Kugelbrennelemente, die ggf. auch für die AVR-Brennelemente genutzt werden können, in die Wege geleitet werden. Diese können auch Arbeiten zu anderen bislang ungeklärten Fragen der Brennelemententsorgung umfassen, beispielsweise der Entsorgung von Siliziumbrennstoffen aus Forschungsreaktoren.**

Dass für die THTR-Brennelemente die Entsorgungsfrage innerhalb Deutschlands gelöst werden muss, ist ein Aspekt, der auch bei der Bewertung von Optionen der Entsorgung der AVR-Brennelemente berücksichtigt werden sollte (siehe auch weiter oben in Kapitel 3.2).

4. Weitere notwendige Schritte, Maßnahmen und Untersuchungen zur Bewertung des Kugelhaufenreaktorkonzepts

Der Bericht der AVR-Expertengruppe hat verschiedene technische Sachverhalte des Betriebs des AVR identifiziert, bei denen einzelne Fragen mit den bislang zur Verfügung stehenden Informationen nicht abschließend geklärt werden konnten /AVR-Expertengruppe 2014/. Zu nennen sind insbesondere Ursachen für die überhöhten Temperaturen im Core, Ursachen für die teils hohen Freisetzungen von Spaltprodukten aus den Kugelbrennelementen sowie das Verhalten des Reaktors bei bestimmten Störfall- und Unfallabläufen.

4.1. Derzeitiger Kenntnisstand

4.1.1. Fließverhalten der Kugelbrennelemente

Die Kugelbrennelemente des AVR wiesen Graphitoberflächen auf, die unter normalen Bedingungen gut gleitend sind, diese Eigenschaft bei den hohen Temperaturen im Core aber verlieren. Daher war es beim AVR mit den dort eingesetzten zwei- und dreidimensionalen Rechencodes nicht möglich, das Fließverhalten der Kugelbrennelemente zuverlässig zu modellieren und vorherzusagen. Eine solche Vorhersage wäre aber die Voraussetzung, den Abbrand einer an einer bestimmten Stelle dem Core oben zugegebenen Kugelbrennelement auf dem Weg bis zur Entnahme prognostizieren zu können. Ohne eine solche Vorhersage kann ein zu hoher Abbrand erreicht werden, der zur Beschädigung der entsprechenden Kugelbrennelemente führen kann.

4.1.2. Temperaturen im Core

Nach einer gewissen Betriebszeit können sich in einem Kugelhaufenreaktor sehr inhomogene Verhältnisse im Core ergeben, was die Dichte spaltbarer Stoffe und damit der Spaltrate und der Wärmeentwicklung angeht. Eine wichtige Ursache ist die Schwierigkeit der Prognose des Fließverhaltens der Kugelbrennelemente. Messbar ist die Temperatur des austretenden Kühlgases, die aber keine Aussage über die Temperaturverteilung im Core erlaubt, sondern nur über eine mittlere Temperatur des gekühlten Bereiches. Dabei ist ebenfalls zu berücksichtigen, dass durch Bypass-Strömungen einzelne Teile des Cores auch nur gering gekühlt werden können. Eine direkte Messung der Temperaturverteilung im Core ist technisch nicht möglich. Durch einen Einsatz von Monitorkugeln, wie er am AVR in einzelnen Kampagnen erfolgt ist, können nur sehr begrenzte Aussagen gewonnen werden. Die Aussagen sind insofern begrenzt, als sie bei einer einzelnen Kugel nur den Schluss zu lassen, ob eine bestimmte Temperatur (Schmelztemperatur eines Schmelzdrahts in der Monitorkugel) nicht erreicht oder erreicht bzw. überschritten wurde. Aufgrund des nicht prognostizierbaren Fließverhaltens ist auch nicht bekannt, in welchen Bereichen des Cores sich ein Monitorelement über welchen Zeitraum aufgehalten hat. Hinzu kommt, dass die Temperatur am Schmelzdraht, also innerhalb der Monitorkugel, nicht die Temperatur der Oberfläche oder des Innern von benachbarten Kugelbrennelementen abbildet, sondern die Temperatur des an diesem Ort durchströmenden Kühlgases.

4.1.3. Freisetzungen von Spaltprodukten aus den Brennelementkugeln

In den Jahren 1974 bis 1976 ist die Primärkreisaktivität im AVR stark angestiegen, ohne dass die Ursachen im Detail geklärt sind. Belastbare Aussagen zu den Ursachen würden voraus setzen, dass die Abhängigkeit der Spaltproduktfreisetzung von den relevanten Einflussgrößen für die eingesetzten Brennelement-Typen auf der einen Seite und die Bedingungen, denen die Brennelemente beim Durchlaufen des AVR-Cores ausgesetzt waren, auf der anderen Seite, bekannt sind.

Ausreichend genau bekannt waren aber nur Typ und Einsatzzeit der verwendeten Kugelbrennelemente. An moderneren Kugelbrennelementen wurde das Freisetzungverhalten unter definierten Belastungen (Temperatur, Heizzeit usw.) gemessen. Das Rückhaltevermögen erwies sich bei Temperaturen bis 1600 °C als sehr hoch, sofern bestimmte Randbedingungen eingehalten werden.

4.1.4. Verhalten eines Kugelhaufenreaktors bei Stör- und Unfällen

In allen Störfallanalysen für den AVR (wie auch für spätere HTR-Konzepte) wurde der Wassereintritt in das Core als größter anzunehmender Unfall angesehen. Aus sicherheitstechnischer Sicht sind dabei die beiden folgenden Vorgänge von Bedeutung:

- die Wassergasbildung durch chemische Reaktion von Wasserdampf mit heißem Graphit mit der Möglichkeit des Entstehens von zündfähigen Gemischen,
- eine Reaktivitätszufuhr mit der Möglichkeit einer Leistungstransiente.

Die Wassergasbildung steigt mit der Temperatur exponentiell an, so dass nach Anhebung der mittleren Kühlgasaustrittstemperatur des AVR auf 950 °C der Nachweis einer ausreichenden Begrenzung der Wassergasbildung für die ursprüngliche Corekonfiguration nicht mehr geführt werden konnte. Daher wurde das Core umgruppiert und ab 1974 musste in zwölfmonatigen Abständen der Nachweis der Unterschreitung der maximalen Wassergaskonzentration von 12 % erbracht werden.

Die AVR-Expertengruppe hat sich mit dieser Thematik befasst, aber Lücken in der (ihr vorliegenden) Nachweisführung benannt. So ist unklar, ob und gegebenenfalls wie die später festgestellten Temperaturüberhöhungen in die Nachweisrechnungen eingingen. Die AVR-Expertengruppe sah sich daher außerstande, ohne entsprechende Unterlagen die potentiellen Folgen der festgestellten Temperaturüberhöhungen auf die Wassergasbildung und -konzentration bei einem Wassereintritt in das AVR-Core abzuschätzen und zu bewerten. Angesichts der überproportionalen Temperaturabhängigkeit der Wassergasbildung einerseits sowie der bekannten Temperaturüberhöhungen andererseits hat die AVR-Expertengruppe diese Fragestellung in ihrem Abschlussbericht als bedeutsam für die Aufarbeitung der AVR-Historie bezeichnet.

Unter neutronenphysikalischen Aspekten ist das Eindringen von Wasser bzw. Wasserdampf in das Core von Bedeutung, da damit eine Reaktivitätszufuhr mit einer Leistungstransiente erfolgen kann. Zu den Reaktivitätsaspekten beim Wassereintritt in HTR-Anlagen gibt es diverse Untersuchungen, insbesondere im Zusammenhang mit den in den 1980er Jahren geführten Diskussionen zum HTR-Modul und zu anderen HTR-Konzepten. Zum AVR ist die Unterlagensituation begrenzt und überwiegend auf die 1970er Jahre bezogen. Das Gutachten von Prof. Dr. Jochen Benecke zum THTR-300 und zum AVR im Rahmen der „Überprüfung kerntechnischer Anlagen in Nordrhein-Westfalen“ /Benecke 1988/ hat – ausgehend von einem Gedankenexperiment – die Möglichkeit einer katastrophalen Leistungsexkursion festgestellt.

Die AVR-Expertengruppe hat sich mit dieser Problematik befasst, hat aber auf der Basis ihrer Unterlagen und Anfragen nicht klären können, ob die im Benecke-Gutachten geäußerten Befürchtungen überprüft und bestätigt oder widerlegt worden sind. In ihrem Abschlussbericht führt die AVR-Expertengruppe schließlich aus: *„Die Expertengruppe bittet die AVR GmbH zu prüfen, ob es belastbare Unterlagen gibt, in denen der Einfluss der Temperaturüberhöhungen auf die o.g. Störfallbeherrschung dargelegt wird, und zwar sowohl für den Aspekt der Wassergasbildung als auch für die Reaktivitätsaspekte. Falls solche Unterlagen existieren, bittet die Expertengruppe um deren Vorlage.“* /AVR-Expertengruppe 2014, S. 59/ Vorgelegt wurde in dieser Hinsicht bislang nichts.

4.2. Weitere Schritte, Maßnahmen und Untersuchungen

Einige sicherheitstechnische Fragestellungen waren für den Betrieb des AVR relevant und sind bis heute nicht abschließend geklärt worden. Für den AVR selbst sind solche Fragestellungen nach dessen Stilllegung nicht mehr relevant. Es ist aber davon auszugehen, dass nicht alle Probleme des AVR-Betriebs international in der Fachwelt ausreichend kommuniziert wurden. Bestimmte Probleme können daher bei den international noch verfolgten Projekten von Kugelhaufenreaktoren ebenfalls ein Problem darstellen, ohne dass dies in den jeweiligen Projekten bislang Berücksichtigung findet.

Wichtige unter den oben genannten Gesichtspunkte weiter zu untersuchende Fragestellungen sind:

- **Welches Freisetzungverhalten von Radionukliden zeigen Kugelbrennelemente auf dem heutigen Stand der Entwicklung? Zur Klärung wären die international durchgeführten experimentellen Untersuchungen und Erfahrungen im Hinblick auf ihre Ergebnisse und mögliche Lücken auszuwerten.**
- **Wie hängt das Freisetzungverhalten von Temperatur und Feuchte ab? Zur Klärung müssten auch hier die international durchgeführten experimentellen Untersuchungen und Erfahrungen im Hinblick auf ihre Ergebnisse und mögliche Lücken ausgewertet werden.**
- **Welche technischen Möglichkeiten bestehen heute zur Messung von Temperaturen im Core von Kugelhaufenreaktoren? Zur Klärung wäre eine technische Recherche erforderlich.**
- **Sind Transienten durch Feuchtigkeit/Wasser im Core möglich? Zur Klärung müssten voraussichtlich neue Simulationsrechnungen durchgeführt werden.**

Darüber hinaus sollte der bei der AVR-Expertengruppe offen gebliebene Punkt weiter verfolgt werden, ob es belastbare Unterlagen gibt, in denen der Einfluss der Temperaturüberhöhungen auf die Beherrschung eines Wasserzutritts ins Core untersucht wurde.

Die vorgenannten Untersuchungen sollten nicht durch die mit der Entwicklung der Kugelhaufenreaktortechnologie befassten Institutionen durchgeführt werden, da eine Weiterentwicklung dieser Technologie nicht erfolgen soll. Ziel der Untersuchungen wäre die Erarbeitung des heutigen technischen Stands hinsichtlich problematischer Aspekte des Kugelhaufenreaktors. Weiterhin bestehende Probleme sollten international kommuniziert werden, beispielsweise auf Fachtagungen zur Kugelhaufenreaktortechnologie oder in entsprechenden Fachzeitschriften.

5. Zusammenstellung der empfohlenen Schritte, Maßnahmen und Untersuchungen

In den vorangehenden Kapiteln haben sich die nachfolgend zusammen gestellten Schritte, Maßnahmen und Untersuchungen als notwendig ergeben:

1. Obwohl die Zerlegung des AVR-Reaktorbehälters erst in einigen Jahrzehnten anstehen wird, ist es sinnvoll, die weitere Entwicklung im Auge zu behalten, um zu vermeiden, dass sich die endgültige Entsorgung des Reaktorbehälters unnötig verzögert. Um Verzögerungen zu vermeiden ist insbesondere frühzeitig (in 10 bis 20 Jahren) mit der Planung der Zerlegetechnik und der entsprechenden Anlage zu beginnen.
2. Es sollte ein verbessertes Monitoring der Kontamination von Boden und Grundwasser eingerichtet werden. Inwieweit vorgezogene Maßnahmen zur Sanierung des Anlagengeländes technisch umgesetzt werden könnten und die Beseitigung eines relevanten Anteils der Gesamtkontamination des Erdreichs am AVR gewährleisten könnten, müsste auf dieser Basis näher geprüft werden. In dieser Hinsicht sollten durch die atomrechtliche Aufsichtsbehörde Untersuchungen veranlasst werden.
3. Die Entwicklung hinsichtlich des Konzepts zur Freigabe des AVR-Geländes sollte weiter verfolgt werden, um bei Vorliegen eines Konzeptvorschlags diesen unabhängig von der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde und ihren Sachverständigen beurteilen zu können.
4. Um eine unter allen Gesichtspunkten optimierte Lösung der Entsorgung der Brennelemente des AVR zu erreichen, sollte das Prüfungsergebnis des Detailkonzepts (vorliegend voraussichtlich Anfang Februar 2015) kritisch analysiert werden.
5. Da die THTR-Brennelemente in Deutschland verbleiben sollen, sollten beim FZJ Entwicklungsarbeiten zur endlagergerechten Konditionierung der Kugelbrennelemente, die ggf. auch für die AVR-Brennelemente genutzt werden können, in die Wege geleitet werden. Diese können auch Arbeiten zu anderen bislang ungeklärten Fragen der Brennelemententsorgung umfassen, beispielsweise der Entsorgung von Silizidbrennstoffen aus Forschungsreaktoren.
6. Zur Aufarbeitung sicherheitstechnischer Probleme der Kugelhaufenreakorttechnologie sollten das Freisetzungverhalten von Radionukliden aus Kugelbrennelementen, die Abhängigkeit des Freisetzungsverhaltens von Temperatur und Feuchte, die technischen Möglichkeiten der Messung von Temperaturen im Core sowie die Möglichkeit von Transienten durch Feuchtigkeit/Wasser im Core auf dem aktuellen Stand der Entwicklung geklärt werden. Bestehende Probleme sollten international kommuniziert werden, beispielsweise auf Fachtagungen zur Kugelhaufenreakorttechnologie oder in entsprechenden Fachzeitschriften.

Unter dem Gesichtspunkt der zeitlichen Priorität, hat die Untersuchung Nr. 4 Vorrang, da diesbezüglich voraussichtlich im Frühjahr 2015 entscheidende Weichenstellungen erfolgen. Auch die unter Nr. 2 genannte Untersuchungen müssten bald in Angriff genommen werden, wenn sich durch sie noch gegebenenfalls ein schnellerer Fortschritt der Kontaminationsbeseitigung vom AVR-Gelände ergeben soll.

Literaturverzeichnis

- AVR 1993 Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor AVR GmbH: Sicherheitsbericht für die Stilllegung des AVR-Versuchskernkraftwerks, die Herbeiführung des sicheren Einschlusses mit Abbau von Anlagenteilen und das Innehaben der Anlage in diesem Zustand, Düsseldorf, September 1993
- AVR 2008 Arbeitsgemeinschaft Versuchs-Reaktor AVR GmbH: Sicherheitsbericht Abbau des AVR Atomversuchskernkraftwerks, E-11026, Stand 29.04.2008
- AVR-Expertengruppe 2014 C. Küppers, L. Hahn, V. Heinzel, L. Weil: Der Versuchsreaktor AVR - Entstehung, Betrieb, Störfälle. Abschlussbericht der AVR-Expertengruppe, April 2014
- Benecke 1988 Benecke, J.: Kritik der Sicherheitseinrichtungen und der Sicherheitskonzepte des THTR Kernkraftwerks Hamm-Uentrop (THTR 300) und des Versuchsreaktors Jülich (AVR), Gutachten für das Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie des Landes Nordrhein-Westfalen im Rahmen der Überprüfung kerntechnischer Anlagen in Nordrhein-Westfalen, März 1988
- BMBF 2014 Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF): Antwort des parlamentarischen Staatssekretärs Stefan Müller, MdB, auf eine Anfrage von Oliver Krischer, MdB (BT-Drs. 18/3360). Berlin, 3. Dezember 2014
- EWN 2008 Energiewerke Nord: Umweltverträglichkeitsuntersuchung (UVU) „Errichtung und Betrieb des Zwischenlagers für den Reaktorbehälter der AVR GmbH Jülich“, 2008
- FZJ 2014 Forschungszentrum Jülich GmbH: Fragen und Antworten zu den AVR-Brennelementkugeln,
http://www.fz-juelich.de/portal/DE/UeberUns/selbstverstaendnis/verantwortung/avr/FAQ_Transport/_node.html
(zuletzt aufgerufen am 24.11.2014)
- MWMT 1994 Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie des Landes Nordrhein-Westfalen: Genehmigungsbescheid Nr. 7/15 AVR – Stilllegung, Entladung des Reaktorkerns, Abbau von Anlagenteilen und sicherer Einschluß des Versuchskernkraftwerks AVR der Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor AVR GmbH in Jülich, 9. März 1994