



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH

**Bewertung der Schadlosgkeit
der weiteren Verarbeitung
von bestrahlten
Brennelementen des
Forschungsreaktors
Rossendorf in der Russischen
Föderation**

M. Wehrfritz
V. Hannstein
H. Uhlenbruck
B. Gmal

April 2010

Auftrags-Nr.: 801704

Anmerkung:

Dieser Bericht ist im Rahmen des Vorhabens 3608103300 erstellt worden. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt werden bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers übereinstimmen.

Inhalt

1	Einleitung	2
2	Gutachtensauftrag	2
3	Rechtsgrundlagen	2
3.1	RRRFR Russian Research Reactor Fuel Return	3
3.2	Schadlose Verwertung	4
3.3	Russisches Regelwerk.....	5
4	Inventarbeschreibung	6
5	Datenlage zur Wiederaufarbeitung in Mayak	7
5.1	Anlagenbeschreibung	7
5.1.1	Wiederaufbereitungsanlage	8
5.1.2	Reaktoren.....	10
5.1.3	Lagereinrichtungen für Kernbrennstoffe.....	11
5.1.4	Verglasungsanlage	12
5.1.5	MOX-Herstellung.....	13
5.1.6	Anlage zur Herstellung radioaktiver Präparate.....	14
5.1.7	Verbleib des wiederaufgearbeiteten Brennstoffs.....	14
5.1.8	Verbleib der Reststoffe und radioaktiven Abfälle	14
5.1.9	Das Gewässersystem in Mayak	19
5.2	Zwischenlagerung/Endlagerung.....	23
5.3	Besondere Vorkommnisse am Standort Mayak	25
5.4	Maßnahmen zur Eindämmung der abgelagerten Aktivität	26
6	Zusammenfassung und Bewertung	28
7	Literaturverzeichnis	31

1 Einleitung

Der Rossendorfer Forschungsreaktor (RFR) vom Typ WWR-S (M/M2) wurde 1957 zum ersten Mal kritisch und erfuhr 1991 seine letzte Abschaltung, um 1993 endgültig stillgelegt zu werden. Der abgebrannte hochangereicherte Brennstoff sollte in Deutschland endgelagert werden, doch im Rahmen des 2004 verabschiedeten Programmes *RRRFR - Russian Research Reactor Fuel Return* sollen die abgebrannten Brennelemente nun aus dem Forschungsreaktor des Forschungszentrums Rossendorf zurück nach Russland verbracht werden. Es handelt sich dabei um 951 Brennelemente mit einer Masse von 382 kg IHM¹ in 18 Behältern des Typs CASTOR MTR 2. Derzeit lagern diese Brennelemente noch im zentralen Zwischenlager Ahaus/Nordrhein-Westfalen. Im Jahre 2006 wurden bereits frische Brennelemente nach Russland zurückgeliefert. Bei dieser fünf Tage dauernden Aktion wurden 268 kg Uran per Flugzeug nach Podolsk bei Moskau verbracht.

2 Gutachtensauftrag

Mit Schreiben / E-Mail vom 16.06.2009 wurde die GRS im Rahmen des Vorhabens 3608103300 beauftragt, für die Rückführung der abgebrannten Brennelemente aus dem Forschungsreaktor in Rossendorf nach Russland im Rahmen des Programms *RRRFR - Russian Research Reactor Fuel Return* die Schadlosigkeit der weiteren Verwertung zu beurteilen.

3 Rechtsgrundlagen

Rechtsgrundlage für die Rückführung abgebrannter Brennelemente aus Deutschland in ein anderes Land (Drittland) ist die „Verordnung über die Verbringung radioaktiver Abfälle oder abgebrannter Brennelemente (Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung – AtAV /ATA 09/“. Diese Verordnung in ihrer Fassung vom 30.04.2009 hat die Richtlinie 2006/117/Euratom des Rates vom 20. November 2006 über die Überwachung und Kontrolle der Verbringungen radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente (ABI. L 337 vom 05.12.2006) in deutsches Recht umgesetzt.

¹ Initial Heavy Metal

3.1 RRRFR Russian Research Reactor Fuel Return

Der Vertrag zum Programm *RRRFR - Russian Research Reactor Fuel Return* wurde 1999 von den USA, der Russischen Föderation und der IAEA geschlossen und danach mehrfach modifiziert, zuletzt im Jahre 2004. Gegenstand des Vertrages ist der Rücktransport von abgebrannten und frischen hochangereicherten Brennelementen aus Forschungsreaktoren, die vor der Auflösung der damaligen UdSSR gebaut und mit Brennstoff versorgt wurden. Vereinbart wurde die Rückführung von Brennstoff aus 20 Forschungsreaktoren in 17 Ländern. In den Jahren 2004 bis 2008 wurden die frischen Brennelemente im Rahmen des *RRRFR* in die Russische Föderation zurückgeholt. Die transportierte Menge beläuft sich auf 446 kg frischen Brennstoff aus Usbekistan, Serbien, Rumänien, Bulgarien, Libyen, Tschechien, Polen, Deutschland und Vietnam /IAE08/. Abgebrannte Brennelemente wurden zum ersten Mal im Jahre 2006 nach Russland überführt. Dabei handelte es sich um 252 Brennelemente mit mehr als 65 kg hochangereichertem Uran aus Usbekistan. Die zweite erfolgreiche Rückführung fand im Dezember 2007 statt, wobei 80 kg bestrahlten HEU-Brennstoffs² und 280 kg abgebrannten LEU-Brennstoffs³ aus der Tschechischen Republik nach Russland transportiert wurden. Der Transport erreichte nach Passieren der Slowakei und der Ukraine sicher die Wiederaufbereitungsanlage Mayak.

Der RRRFR-Vertrag hat die folgenden wesentlichen Punkte zum Inhalt /IAE05/:

- Es handelt sich um Kernbrennstoffe aus Forschungsreaktoren, die aus der UdSSR stammen.
- Jedes Land, das Brennstoff in die Russische Föderation zurückbringen möchte, muss sich verpflichten,
 - den Forschungsreaktor, der mit HEU-Brennstoff aus der ehemaligen UdSSR betrieben wurde, so schnell wie möglich auf LEU-Brennstoff umzurüsten, falls die jeweiligen Länderregulatorien dies erlauben oder das hochangereicherte Uran vollständig verbraucht wurde,

oder

² High Enriched Uranium

³ Low Enriched Uranium

- den Reaktor stillzulegen.
- Jeder Bestand an HEU-Brennstoff muss für den Rücktransport verfügbar gemacht werden, bevor im Gegenzug LEU-Brennstoff zurückgeliefert wird.
- Alle Brennstofftransporte müssen nach den derzeit geltenden IAEA-Vorschriften (INFCIRC/225/R.4 /IAE75/ und INFCIRC/153 /IAE72/) erfolgen.

Bis zum 31. Dezember 2010 sollen alle Rücktransporte von abgebranntem Brennstoff nach Russland abgeschlossen sein.

3.2 Schadlose Verwertung

Die atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung AtAV gilt für die Überwachung und Kontrolle grenzüberschreitender Verbringung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente. Im Falle der Brennelementrückführung von Rossendorf nach Mayak kommt § 9 der AtAV „Verbringung in ein Drittland“ zur Anwendung. Dabei wird in Absatz (1) Satz 1 der AtAV geregelt, dass eine Genehmigung durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (als genehmigende Behörde) nur erteilt werden darf, wenn es aufgrund der Auskunft der zuständigen Behörde des Drittlandes zu der Überzeugung gelangt, dass der Empfänger oder das Drittland die sichere Entsorgung der abgebrannten Brennelemente gewährleistet; dabei sind die von anderen Mitgliedsstaaten übermittelten Informationen zu berücksichtigen. Für die Beurteilung der sicheren Entsorgung vergewissert sich die genehmigende Behörde unter Einbindung anderer Ministerien – in diesem Falle des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) -, dass die vom bundesdeutschen Regelwerk geforderte Schadlosigkeit der Verwertung gewährleistet ist.

In Bezug auf die Einschätzung zur schadlosen Verwertung kommt im bundesdeutschen Regelwerk der § 9 des Atomgesetzes (AtG) /ATG09/ zur Anwendung. Nach § 9a AtG hat derjenige, der als Betreiber von kerntechnischen Anlagen fungiert oder wesentliche Umbaumaßnahmen daran vornimmt (Rückbau, Stilllegung, etc.), für die anfallenden radioaktiven Reststoffe sowie aus- und abgebaute Anlagenteile im Rahmen der nach § 1 Nr. 2 bis 4 AtG bezeichneten Zwecke für die schadlose Verwertung oder die geordnete Beseitigung als radioaktive Abfälle (direkte Endlagerung) zu sorgen. Im Rahmen der Rückführung der bestrahlten Brennelemente aus Rossendorf sind nach den Kriterien einer schadlosen Verwertung folgende Kriterien zu beachten:

2. Leben, Gesundheit und Sachgüter vor den Gefahren der Kernenergie und der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlen zu schützen bzw. dadurch entstandene Schäden auszugleichen,
3. zu verhindern, dass durch Anwendung oder Freierdung der Kernenergie oder ionisierender Strahlen die innere oder äußere Sicherheit der BRD gefährdet wird,
4. die Erfüllung internationaler Verpflichtungen der BRD auf dem Gebiet der Kernenergie und des Strahlenschutzes zu gewährleisten.

Es ist zu prüfen, ob Erkenntnisse darüber vorliegen, dass die besagte Rückführung bestrahlter Brennelemente aus dem RFR in die RF den oben aufgeführten Kriterien einer schadlosen Verwertung entgegensteht.

3.3 Russisches Regelwerk

In der Russischen Föderation umfasst die Regelung zur Sicherheit beim Management von radioaktiven Abfällen (Sammlung, Klassifizierung, Wiederaufarbeitung, Konditionierung, Transport, Zwischen- und Endlagerung) Maßnahmen, die den Schutz des Betriebspersonals und der Bevölkerung sowie der Umwelt gegen radioaktive Strahlung sicherstellen. Grundlegende föderale Gesetze, Normen und Richtlinien sind in diesem Zusammenhang:

- ⇒ Generelle Anforderungen an die Sicherheit beim Management radioaktiver Abfälle (NP-058-04)
- ⇒ Sicherheitsanforderungen im Zusammenhang mit der Sammlung, Wiederaufarbeitung, Zwischenlagerung und Konditionierung von flüssigen radioaktiven Abfällen (NP-019-2000)
- ⇒ Sicherheitsanforderungen im Zusammenhang mit der Sammlung, Wiederaufarbeitung, Zwischenlagerung und Konditionierung von festen radioaktiven Abfällen (NP-020-2000)
- ⇒ Sicherheitsprinzipien, Kriterien und grundlegende Anforderungen zur Endlagerung von radioaktiven Abfällen (NP-055-04)
- ⇒ Sicherheitsanforderungen an die oberflächennahe Endlagerung von radioaktiven Abfällen (NP-069-06)

Diese Regeln sind unter Berücksichtigung der IAEA-Anforderungen in den Safety Series No 111-F „Principles of Radioactive Waste Management“, No 115 „Basic Safety Standards“ sowie WS-G-1.2 „Management of Radioactive Waste from the Mining and Milling of Ores“ entwickelt worden.

Zurzeit wird in Russland ein Bundesgesetz „Radioaktives Abfallmanagement“ (Entwurf) für ein einheitliches staatliches System zum Management aller radioaktiven Abfälle in der russischen Föderation entwickelt.

4 Inventarbeschreibung

Im Rossendorfer Forschungsreaktor (RFR) kamen im Wesentlichen drei verschiedene Brennelementtypen zum Einsatz. Bis 1965 wurden Brennelemente (BE) des Typs Ek-10 genutzt. Von dieser Art lagern derzeit 148 BE mit 10% Anfangsanreicherung ^{235}U und ursprünglich 1,3 kg U_{tot} pro BE in Ahaus. Das Material entspricht einer Gesamtmasse von ca. 190 kg angereichertem Uran im frischen Zustand. Nach einer Umrüstung des RFR und der damit verbundenen Leistungserhöhung wurden ab 1965 Brennelemente vom Typ WWR-M eingesetzt. Davon befinden sich 269 Einfach-BE und 456 Dreifach-BE mit insgesamt 183 kg Brennstoff (36% Anfangsanreicherung) in Ahaus. Ein Einfach-BE besteht aus drei konzentrischen Brennstoffröhren aus UO_2 -Dispersionsbrennstoff mit jeweils einer inneren und einer äußeren Aluminiumhülle. Die Dreifach-BE sind drei baulich miteinander verbundene Einfach-BE. Bei der letzten Umbaumaßnahme fand eine weitere Leistungserhöhung statt. Danach kamen Brennelemente vom Typ WWR-M2 zum Einsatz. Aus dieser Periode lagern 42 Einfach-BE und 36 Dreifach-BE mit insgesamt 18 kg Brennstoff (36% Anfangsanreicherung) in Ahaus. Insgesamt beläuft sich die eingelagerte Brennstoffmenge auf 951 Brennelemente mit ca. 382 kg SM, verteilt auf 18 CASTOR-MTR2 Behälter. Aus Angaben in den Genehmigungsunterlagen kann die Gesamtmenge an noch in den BE enthaltenem ^{235}U auf etwa 40 kg geschätzt werden.

5 Datenlage zur Wiederaufarbeitung in Mayak

Etwa 65 km nordwestlich der im Süden des Ural gelegenen Stadt Tscheljabinsk liegt das Chemiekombinat Mayak (oder auch FSUE PA Mayak⁴) mit zahlreichen nuklearen Einrichtungen. Es ist seit 1948 in Betrieb und lieferte den größten Teil des Plutoniums für das sowjetische Atomwaffenprogramm. Dort befindet sich Russlands derzeit einzige arbeitende Wiederaufbereitungsanlage: RT-1.



Abbildung 5-1: Luftaufnahme des Anlagenkomplexes Mayak /GOO09/

5.1 Anlagenbeschreibung

Auf dem Gelände des Chemiekombinats Mayak befinden sich diverse kerntechnische Einrichtungen. Im Folgenden werden diese vorgestellt.

⁴ Federal State Unitary Enterprise Production Association Mayak; Betreiber: ROSATOM

5.1.1 Wiederaufbereitungsanlage

Die Wiederaufarbeitung ist die Hauptaufgabe des Anlagenkomplexes Mayak. Die erste Wiederaufbereitungsanlage - die sogenannte Anlage B - wurde 1948 errichtet. Damit konnte erstmals großtechnisch Plutonium aus den Uran-Graphit-Reaktoren zurückgewonnen werden. Die Anlage B war bis 1960 in Betrieb und wurde von der Anlage DB (oder Anlage 35) abgelöst, welche 1987 abgeschaltet wurde. 1949 wurde die Anlage V (oder Anlage 20) gebaut, welche zur Gewinnung von metallischem Plutonium für die Kernwaffenherstellung vorgesehen war. Diese ist bis heute in Betrieb. Die heutige Verwendung ist nicht bekannt /BEL04/. Auf den Fundamenten von Anlage B wurde eine Wiederaufbereitungsanlage errichtet, die für unterschiedliche Reaktortypen ausgelegt war. Sie ging 1977 in Betrieb und trägt die Bezeichnung RT-1. In der Anlage RT-1 werden Wiederaufarbeitungslinien für folgende Reaktortypen betrieben: Schiffsreaktoren, WWER-440 (der russischen Druckwasserreaktorbaureihe) und BN-600/350 (schnellen Brutreaktoren). Im Rahmen des Programms RRRFR werden seit 2006 auch HEU- und LEU-Brennelemente aus Forschungsreaktoren wiederaufbereitet.

5.1.1.1 Prozessbeschreibung Wiederaufarbeitung

In Abbildung 5-2 sind die Verfahrensschritte der Wiederaufarbeitung in der Anlage RT-1 dargestellt. Der abgebrannte Brennstoff wird über den Schienenverkehr in speziellen Behältern angeliefert. Nach dem Entladen wird der Brennstoff zunächst in Nasslagerbecken mit einer Kapazität von 2.500 tSM /GRS06/ für 5 bis 7 Jahre zwischengelagert. Nach dieser Lagerzeit werden die nichtbrennstoffhaltigen Enden abgetrennt. Die BE werden dann im Bündelschnitt in 15 mm lange Stücke zerlegt, unter Hochdruck zerdrückt /GRS93/ und anschließend in Salpetersäure gelöst (18 Stunden pro Ladung). Die chemische Trennung erfolgt über Mixer-Settler in zwei Reinigungszyklen nach dem sog. PUREX-Verfahren mit zusätzlicher Neptuniumabtrennung.

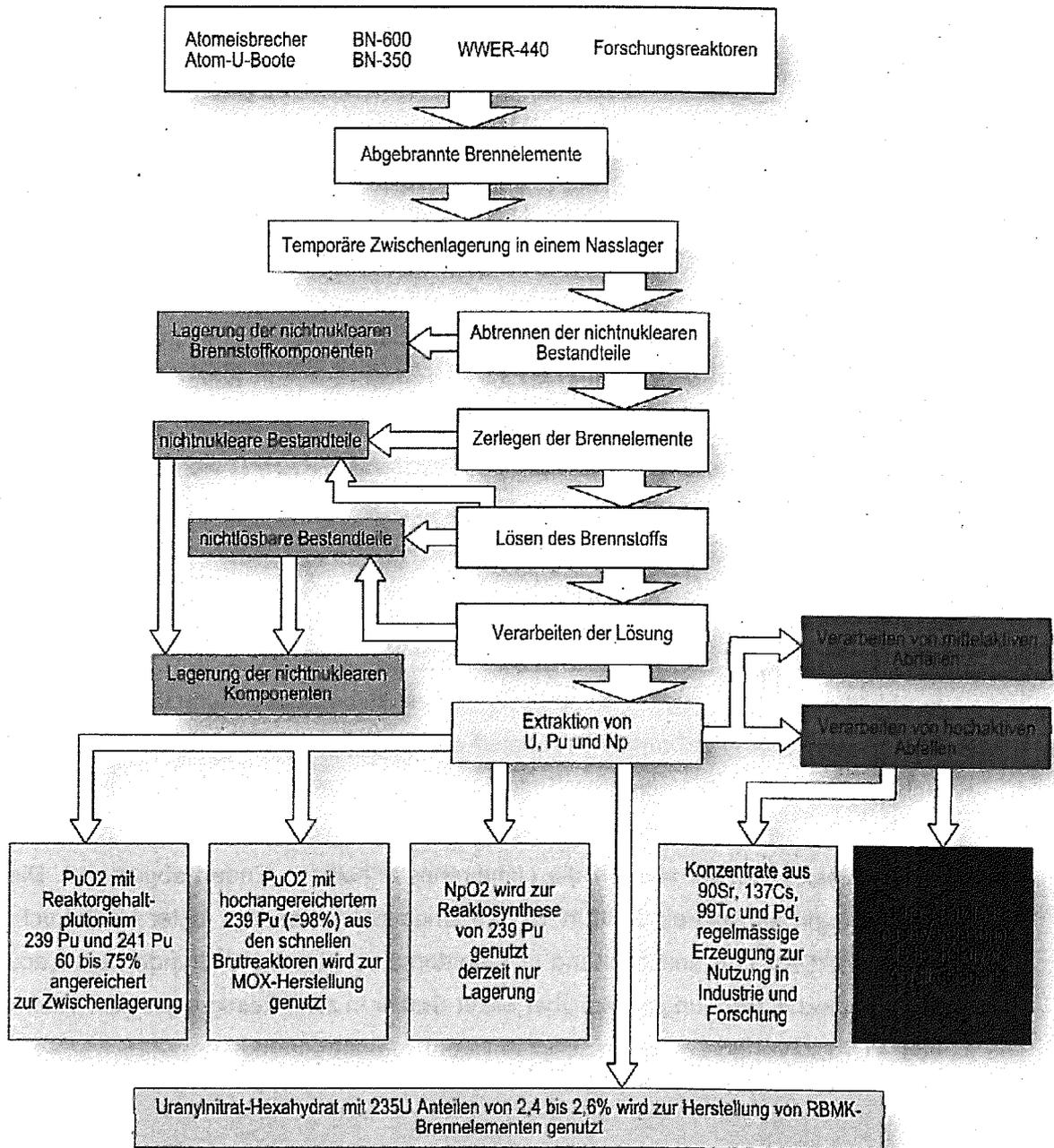


Abbildung 5-2: Wiederaufarbeitung von abgebranntem Brennstoff in der RT-1 Anlage

/BEL04/

Dabei wird Uran in Form von Uranylнитrat $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2]$ abgetrennt und zur Herstellung von RBMK-Brennelementen verwendet. Plutonium und Neptunium gehen als Oxide $[\text{PuO}_2]$ und $[\text{NpO}_2]$ in die Produktlagerung. Das Plutonium aus thermischen Reaktoren soll aber in Zukunft für die Brennstoffherstellung verwendet werden. Das Plutonium aus schnellen Brutreaktoren hat eine sehr hohe Anreicherung (ca. 98% ^{239}Pu) und wird direkt zur Produktion von MOX-Brennelementen eingesetzt.

5.1.1.2 Kapazität/Durchsatz

Die Wiederaufarbeitungsanlage RT-1 ist für einen Durchsatz von 400 t/a abgebrannten WWER-440 Brennstoffs, 10 t/a Brennstoff aus Schiffsreaktoren und 60 t/a Brüterbrennstoff ausgelegt. Bis 2001 wurden 3.500 t abgebrannten Brennstoffs wiederaufgearbeitet. In den vergangenen Jahren wurden durchschnittlich 140 t/a abgebrannten WWER-440-Brennstoffs, 8 t/a aus Schiffsreaktoren und 25 t/a abgebrannten BN-600-Brennstoffs durchgesetzt /AME08/. Über den Durchsatz an Brennstoff aus Forschungsreaktoren liegen keine genauen Angaben vor. Der derzeitige Gesamtdurchsatz beträgt 120 tSM/a /NEI06/. Die geringe Auslastung der Anlage ist nach /BEL04/ auf drei Gründe zurückzuführen:

1. Kostensteigerung für den Transport und die Wiederaufarbeitung
2. Senkung bzw. Rückgang des maximalen Durchsatzes infolge der Verlängerung des Betriebes der RT-1-Anlage und der damit verbundenen Revisionen
3. **Einschränkung der Betriebsgenehmigung zur Einleitung von flüssigem radioaktivem Abfall in das Tetscha-Flusssystem.**



5.1.2 Reaktoren

Mit dem Bau des ersten Plutoniumbrüters im Jahre 1948 entstand auch die Anlage von Mayak. Der 100 MW Reaktor „A“ war der erste graphitmoderierte Uranreaktor in der UdSSR. Er lief bis zum Jahre 1987. Es folgten weitere Reaktoren, von denen heute noch zwei in Betrieb sind /AME08/. Seit 2004 wird an drei Blöcken des Brutreaktors BN-800 im Rahmen des Projekts *Kernkraftwerk Süd-Ural* gebaut. Die Fertigstellung erfolgt voraussichtlich 2015. Anderen Quellen zufolge wurde der Bau der Brutreaktoren eingestellt und mit der Errichtung von Druckwasserreaktoren im Süd-Ural begonnen /AME08/. Diese Reaktoren sollen die Plutoniumbestände aus dem russischen Atomwaffenvorrat zur Energieerzeugung im Rahmen des Programms *Megatons to Megawatts* nutzen.

5.1.3 Lagereinrichtungen für Kernbrennstoffe

Auf dem Gelände des Chemiekombinats Mayak befinden sich mehrere Lagereinrichtungen für Kernbrennstoffe. 2003 ging im Rahmen des von den USA geförderten *Cooperative Threat Reduction Programme* (CTR) ein Lager für spaltbare Materialien in Betrieb. Es ist für 50 t Waffenplutonium und 200 t HEU ausgelegt. Derzeit lagern dort 25 t Plutonium in 6.250 Behältern, aber kein hochangereichertes Uran. Das Gebäude besteht aus einer 1,6 m dicken äußeren und einer 1,5 m dicken inneren Wand aus verstärktem Beton. Der Zwischenraum (3,6 m) ist mit Sand und Geröll verfüllt. Der Bau wird von einem 7,6 m dicken Dach überspannt und bietet Raum für sechs Lagerboxen mit jeweils 528 Stellplätzen für Uran- und Plutoniumbehälter /BEL04/. Diese AT-400 R-Behälter genügen den Transportvorschriften der IAEA. Die Nachzerfallswärme wird über ein Luftkühlungssystem aus dem Lagergebäude abgeführt.

Für den abgebrannten Brennstoff befindet sich ein Nasslager zur Zwischenlagerung mit einer Kapazität von 2.500 t Uran auf dem RT-1-Gelände. Am gleichen Standort war ein zusätzliches Nasslager mit einer Kapazität von 2.000 t geplant, das jedoch nicht gebaut wurde. Stattdessen befindet sich - ebenfalls im Rahmen des CTR-Programmes - ein Behälterlager für abgebrannte Schiffsbrennelemente derzeit im Bau, welches Platz für 154 Behälter mit einer Kapazität von jeweils 40 t bieten soll, wobei jeder Behälter 49 Brennelemente fasst /BEL04/. Pro Jahr treffen im Nasslager 120 bis 140 tSM (hauptsächlich WWER-440) ein. Neben 387,5 t abgebrannter Brennelemente aus WWER-440-Reaktoren /ROS08/ werden in Mayak auch abgebrannte Brennelemente aus den Blöcken 1 und 2 des Kernkraftwerks Beloyarsk gelagert. Dabei handelt es sich um Brennstoff aus AMB-Reaktoren, den Vorgängern der RBMK-Linie, der gegenwärtig nicht wiederaufgearbeitet werden kann. **Mit der zunehmenden Brennstoffmenge, werden die Lagerkapazitäten allmählich knapp. Überdies erschwert die Korrosion eines Behälters mit defekten Brennelementen die Handhabung weiterer 5.000 BE.** Um Freisetzungen von Radioaktivität zu vermeiden, **müssen zusätzliche Barrieren und Wasserreinigungsanlagen für das Lagerbecken errichtet werden.** Dadurch wächst auch die Menge an flüssigem radioaktivem Abfall. Deshalb ist ein neues Lager 801A im Bau, welches 2012 betriebsbereit sein soll.

Derzeit befinden sich 76 t AMB-Brennstoff in den Lagern /ROS08/. **Welche Mengen abgebrannter Kernbrennstoffe aus Forschungsreaktoren in Mayak gelagert sind, ist unbekannt.** Der abgebrannte Brennstoff russischer Forschungsreaktoren wird an den

jeweiligen Standorten zwischengelagert. In diesen Lagern sind derzeit 90 t Brennstoff untergebracht /ROS08/. Ihre sichere Einlagerung ist durch das Behälterdesign und die Ladevorschriften gewährleistet.

Plutoniumdioxid aus der Wiederaufarbeitung wird auf dem RT-1 Gelände in luftdichten 1,93 L-Behältern mit einem Innendurchmesser von 144 mm gelagert. Die Behälter werden in betonierten Gräben in jeweils zwei Reihen und zwei Schichten deponiert. Bei einem Notfall können die Behälter mittels Fernsteuerung ausgetauscht werden. Die Gräben werden mit stahlverstärktem Kunststoff verschlossen. Zur Wärmeabfuhr wird permanent Luft an den Behältern vorbeigeführt. Nach /BEL04/ liegen ca. 30 t Plutonium aus der Wiederaufarbeitung von bestrahltem Kernbrennstoff auf dem Gelände des Anlagenkomplexes Mayak. Uranylнитrat wird in Behältern mit einem Gitterabstand von 2,10 m gelagert, bevor es zur Brennstoffherstellung für RBMK-Reaktoren verwendet wird. Triuranoktoxid (U_3O_8) wird in Anlage 104 gelagert. Mit einer Anreicherung von bis zu 27 % ^{235}U wird es in 5 und 8 L-Containern aufbewahrt. Die 8 L-Container werden in Betongräben in jeweils zwei Reihen nebeneinander und zwei Lagen übereinander gelagert, die 5 L-Container in nur einer Reihe und zwei Lagen. Aufgrund der geringen Wärmeproduktion von Uran ist eine spezielle Kühlung nicht notwendig. Zur Lagerung von Neptuniumdioxid liegen keine genauen Angaben vor.

Die Anlage ist u. a. durch Metall- und Strahlendetektoren sowie durch Videoüberwachung gesichert. Der gesamte Lagerbereich wurde im Hinblick auf den „Physischen Schutz“ mit einem Sicherheitszaun umgeben /BEL04/.

5.1.4 Verglasungsanlage

Im Jahr 1987 ging der erste Brennofen für die Behandlung von radioaktivem Flüssigabfall (HAW) in Betrieb. Die zweite Verglasungsanlage EP-500R/2 nahm im Juni 1992 den Betrieb auf. Sie verglaste 11.000 m³ flüssige hochaktive Abfälle (LRW) und wurde im Jahr 1997 stillgelegt. Die dritte Verglasungsanlage EP-500R/3 nahm im Jahre 2000 den Betrieb auf. Wegen unzureichender Auslegung wurden anstelle des vorgesehenen Durchsatzes von 500 L/h nur 350 L/h erreicht. Deshalb wurde EP-500R/3 im Jahre 2006 abgeschaltet und 2007 die neue Anlage EP-500R/4 in Auftrag gegeben, die mittlerweile in Betrieb ist /BEL04/. In ihr können stündlich 500 L hochaktiven Flüssigabfalls zu 70 kg Phosphat-Alkali-Glas mit einem Spaltproduktanteil von ca. 23% konditioniert werden /GRS93/. Das Schmelzverfahren ähnelt dem deutschen PAMELA-Verfahren.

Technische Daten /GRS93/ :

- Einbringung von 3 Kanistern mit je 200 L Glas in eine Box
- Zwischenlagerung der Boxen nach Argonverschweißung
- Glasvolumen im Ofen: 100-150 m³
- Lagerkapazität: 6000 Boxen für 10 Jahre

In Mayak werden jährlich etwa 600 t von hochaktivem Flüssigabfall mit einer Aktivität von $1,38 \times 10^{18}$ Bq verglast /ROS08/.

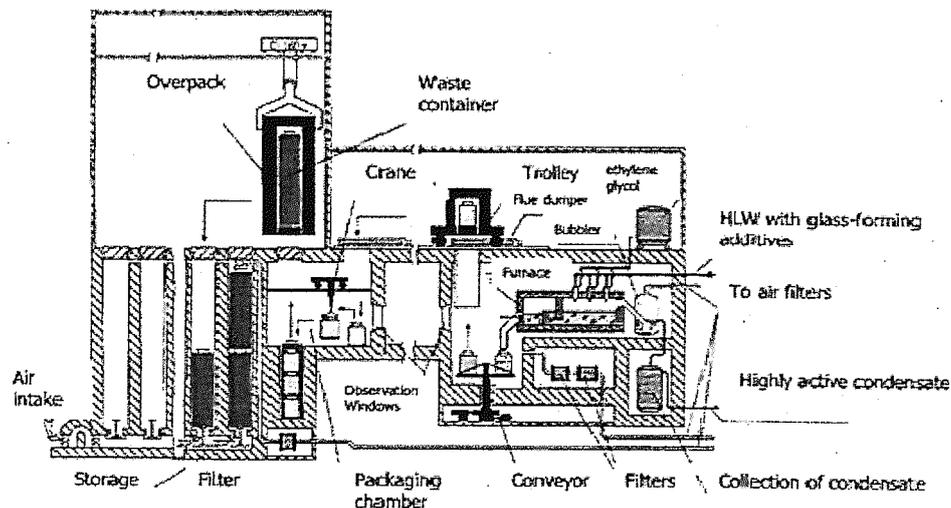


Abbildung 5-3: Skizze des Verglasungsprozesses in Mayak /AME08/

5.1.5 MOX-Herstellung

Seit den 1960er Jahren wird in Mayak MOX-Brennstoff hergestellt. Nach einer Pilotanlage ging 1986 die Zhemtschug-Anlage in Betrieb, die bis 1987 arbeitete. Sie wurde von der Granat-Anlage abgelöst, welche seit 1988 jährlich etwa 70 bis 80 kg Plutonium herstellt: Eine Menge, die ausreicht, um zehn Brennelemente zu fertigen. Das Produktionsverfahren sieht die MOX-Granulatherstellung aus Uran/Plutonium-Nitratlösungen vor. Diese werden mit NH_3 gefällt, anschließend filtriert, getrocknet und unter Zugabe von Hilfsmitteln verpresst und gesintert.

Ebenfalls seit 1988 ist die PAKET-Anlage zur Brennstabherstellung mit einem Jahresausstoß von 70 bis 80 kg Plutonium in Betrieb, in der die Brennelemente für schnelle Brüter hergestellt werden. Zur MOX-Herstellung für die Reaktorlinie BN-800 befindet sich die Einrichtung mit der Bezeichnung „Komplex 300“ zur Herstellung von Brennstäben aus Granulat oder Pulver mit einem Anteil von 26 % Pu im Bau.

5.1.6 Anlage zur Herstellung radioaktiver Präparate

Neben der Wiederaufarbeitung und Lagerung von Kernbrennstoffen werden in der Anlage 45 in Mayak auch radioaktive Quellen und Chemikalien hergestellt.

5.1.7 Verbleib des wiederaufgearbeiteten Brennstoffs

In der Wiederaufarbeitungsanlage Mayak werden Uran, Plutonium und Neptunium separiert. Das Uran wird in Form von Uranyl-nitrat $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2]$ zur RBMK-Brennelementherstellung und in Form von angereichertem Uranoxid $[\text{U}_3\text{O}_8]$ zur Brennelementherstellung für die schnellen Brutreaktoren BN-600 und BN-350 verwendet. In Dioxidform $[\text{UO}_2]$ wird es ebenso wie das Plutonium $[\text{PuO}_2]$ aus Brutreaktoren zur MOX-Herstellung genutzt. Neptuniumdioxid $[\text{NpO}_2]$ wird zur Herstellung von ^{238}Pu verwendet oder gelagert. Der wiedergewonnene Brennstoff aus Marinereaktoren wird zur Herstellung von WWER-1000-Brennelementen genutzt. Die Herstellung von Brennelementen erfolgt in Russland an drei der ROSATOM-Tochter TVEL gehörenden Standorten, und zwar im:

- Maschinenbaukombinat Elektrostal Moskau (RBMK, WWER-440, Schnelle Brüter)
- Tschepezker Maschinenbaukombinat in Glasov (RBMK, Schnelle Brüter)
- Werk für Chemiekonzentrate in Nowosibirsk (WWER-1000)

5.1.8 Verbleib der Reststoffe und radioaktiven Abfälle

Im Staatenbericht Russlands zur 3. Überprüfungskonferenz der Joint Convention /ROS08/ sind die generellen Vorgehensweisen im Umgang mit radioaktivem Abfall dargelegt. Die Wiederaufbereitung und Konditionierung greift u. a. auf folgende Arbeitsmethoden zurück: Wasserbehandlung (Ionentauscher, Ausfällung, Ablagerung), Verdampfung, Inaktivierung, Verglasung, Bituminierung, Kalzinierung, Zerlegung, Kompaktierung, Einschmelzung, Dekontamination, Einäscherung, Zementierung.

Bei der Wiederaufbereitung in der Anlage RT-1 in Mayak fallen flüssige (LRW⁵) und feste (SRW⁶) radioaktive Abfälle an. Weitere Abfälle kommen aus Anlagen am Standort Mayak, nämlich den Kraftwerken, der Isotopenproduktion und der MOX-Fabrikation. Nach /BEL04/ bestehen 95% der anfallenden Abfälle aus hochaktivem LRW, der Anteil an mittelaktivem LRW beträgt 4% und an schwachaktivem LRW 0,01%. Den restlichen Anteil bildet SRW. Die Aktivität in den Abfällen geht in erster Linie von ⁹⁰Sr (T_½= 28,64 a) und ¹³⁷Cs (T_½= 30,17 a) aus. Die Einteilung der Abfälle nach ihrer Aktivität ist in Tabelle 5-1 dargestellt.

Tabelle 5-1: Einteilung der festen (SRW) und flüssigen (LRW) radioaktiven Abfälle in Mayak /BEL04/ , /GRS06/

Abfallart	Einteilung	Aktivität
SRW	G1 SW (group 1 solid waste)	7,4x10 ³ – 3,7x10 ⁶ Bq/kg
	G2 SW	3,7x10 ⁶ – 3,7x10 ⁹ Bq/kg
	G3 SW	mehr als 3,7x10 ⁹ Bq/kg
LRW	G1 LW (group 1 liquid waste)	weniger als 3,7x10 ⁵ Bq/L
	G2 LW	3,7 x10 ⁵ – 3,7x10 ¹⁰ Bq/L
	G3 LW	mehr als 3,7x10 ¹⁰ Bq/L

Ab 2004 wird in Russland nicht mehr zwischen festen und flüssigen radioaktiven Abfällen unterschieden, sondern nur nach der spezifischen Aktivität /GRS06/. Die in diesem Bericht verwendete Klassifizierung differenziert zwischen Fest- und Flüssigabfällen, da diese unterschiedlich behandelt bzw. gelagert werden.

⁵ Liquid Radioactive Waste

⁶ Solid Radioactive Waste

5.1.8.1 Flüssige radioaktive Abfälle (LRW)

Die bei der Plutoniumgewinnung in der UdSSR anfallenden Mengen von LRW wurden anfangs in die umliegenden Gewässer geleitet, später auch in speziellen Lagertanks aufgefangen.

Schwachaktiver Flüssigabfall wird heute neutralisiert und in Anlage 22 behandelt. Die dabei entstehenden schwachaktiven Abwässer werden im R#2 (siehe Abbildung 5-6) Wasserreservoir gespeichert. Das zurückgewonnene Wasser läuft durch die Reservoirs R#3 und R#4 in das Tetscha-Flusssystem. Von dort verteilt es sich weiter auf die Reservoirs R#10 und R#11.

Mittelaktiver LRW wird entweder direkt im R#9-Reservoir (Karatschaisee) oder R#17-Reservoir (Staroye Boloto) gelagert oder verdampft. Danach wird er durch Zementierung oder Bituminierung verfestigt oder zusammen mit hochaktivem LRW verglast.

Hochaktive Nitratlösungen von Spaltprodukten und Aktiniden aus der Wiederaufbereitung werden direkt in 4 L Edelstahlbehältern gelagert. Diese Behälter werden senkrecht in Stahlbetonröhren im Boden gelagert. Die Röhren sind mit Metalledichtungen versehen. Diese Lagereinrichtungen haben ein Volumen von 11.700 m³. Die eingelagerte Aktivität beträgt 9,3x10⁶ TBq /BEL04/. Der hier eingelagerte Abfall enthält Korrosionsprodukte, die ihn ungeeignet für eine Verglasung machen.

Nach /BEL04/ befanden sich bis 2004 19.000 m³ von hochaktivem Flüssigabfall mit zähflüssiger Konsistenz im Anlagenkomplex Mayak. Die Gesamtaktivität beläuft sich auf etwa 5x10⁶ TBq. Der Abfall ist auf 20 Lagertanks verteilt. Diese Tanks bestehen aus edelstahlverkleidetem Beton und haben eine Kapazität von je 1.170 m³. Zur sicheren Aufbewahrung befinden sich an den Tanks Kühlsysteme, Überwachungssysteme über die Bildung von explosiven Gasen und Systeme, um durch geeignete Verdünnung die Bildung von explosiven Gaskonzentrationen zu verhindern. Die Lagertemperatur wird permanent unter 70 °C gehalten, und es finden regelmäßige Kontrollen der Tanks statt. Monatlich wird ein Bericht über deren Zustand verfasst /BEL04/. Eine Sicherheitsüberprüfung von Tanks, welche 32 bis 36 Jahre in Betrieb waren, hat ergeben, dass eine sichere Lagerung für weitere 25 Jahre gewährleistet ist /BEL04/.

Der verglaste hochaktive LRW wird in Stahlkanister gefüllt. Jeweils drei Kanister werden in einen Behälter verpackt, jeweils zwei dieser Behälter werden in einer Betonröhre gelagert. Der Lagerkomplex gliedert sich in 7 Sektionen mit jeweils 338 Lagerröhren. Nach /BEL04/ ist bereits ein Drittel davon belegt.

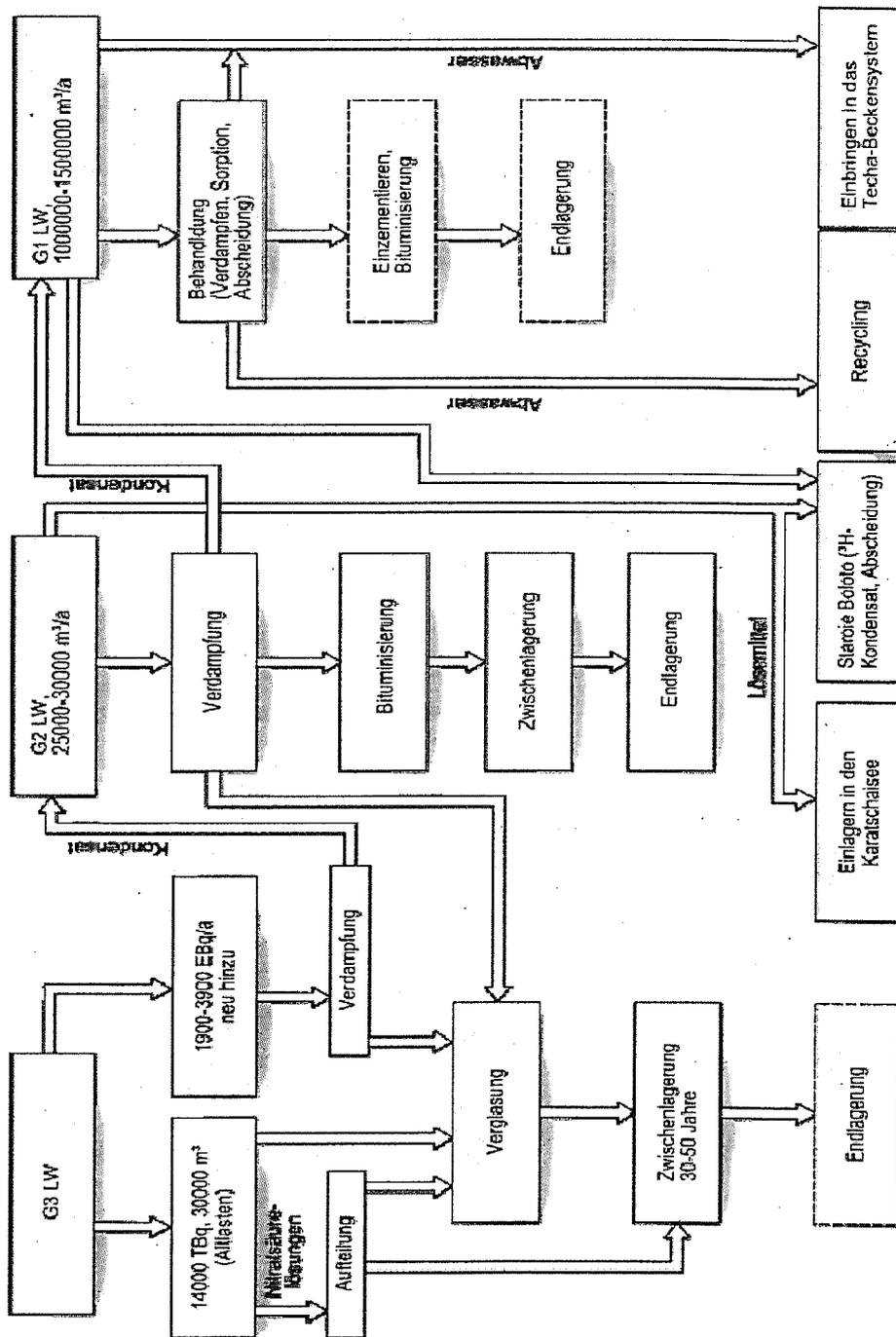


Abbildung 5-4: Behandlung von radioaktiven Flüssigabfällen (LRW) in Mayak.

/AME08/

5.1.8.2 Feste radioaktive Abfälle (SRW)

Nach /AME08/ befanden sich im Jahre 1996 auf dem Gelände Mayak 230 SRW-Lagereinrichtungen. Im Jahr 2009 wurden davon 13 genutzt. Darin sind schätzungsweise 475 000 t SRW eingelagert, die sich wie folgt verteilen:

- 25 000 t hochaktiv
- 300 000 t mittelaktiv
- 150 000 t schwachaktiv.

Die bei der Wiederaufarbeitung zerlegten Brennelementkomponenten, wie Hüllrohre oder Abstandshalter, die sich nicht lösen lassen, werden als hochaktiver SRW eingelagert. Es kommt sowohl eine Oberflächenlagerung als auch eine unterirdische Lagerung zur Anwendung. In beiden Fällen bestehen die Lagergebäude aus Beton mit einer Wasserabdichtung aus 2 – 3 Lagen und einem Ventilationssystem mit einer mehrstufigen Filteranlage zur Beseitigung von Verunreinigungen.

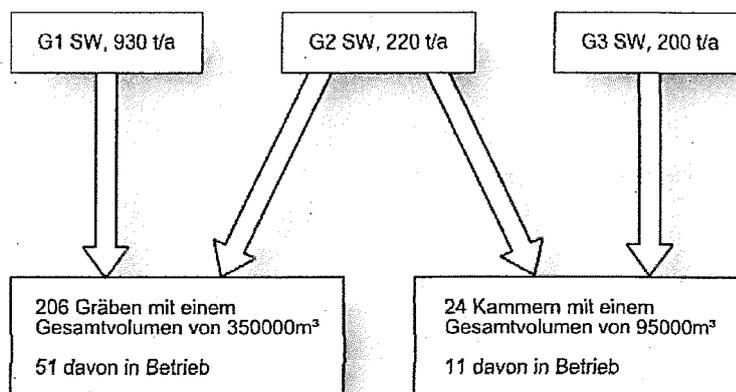


Abbildung 5-5: Behandlung von festen, radioaktiven Abfällen in Mayak /AME08/

Mittelaktiver SRW wird in betonierten Gräben von 10 bis 20 m Breite in zwei Lagen in einem Bereich des Karatschaisees eingebracht. Die Lagen werden zur Stabilisierung und zur Vermeidung von Freisetzungen in die Atmosphäre jeweils mit Erde überdeckt. Eine Schutzvorrichtung zur Vermeidung von Freisetzungen in das Grundwasser ist nicht vorhanden /AME08/. Schwachaktiver SRW wird in einer Lagereinrichtung in Vostok eingelagert. Im Zuge der Einlagerung anfallender zusätzlicher SRW wird in der Anlage RT-1 deponiert.

Die gesamte in Mayak eingelagerte Menge an Aktivität ist in Tabelle 5-2 aufgelistet.

Tabelle 5-2: In Mayak eingelagerte Aktivität /BEL04/

Abfalltyp	Aktivität [TBq]
SRW	8300
LRW (on site)	33000
LRW in Reservoirs	4500
Gesamt	45800

5.1.9 Das Gewässersystem in Mayak

Der größte Teil des flüssigen radioaktiven Abfalls wurde in das Tetscha-Flusssystem eingebracht. Im Laufe der Zeit wurden Rückhalteseen gebaut und dadurch das nachfolgend beschriebene Reservoirsystem gebildet (s. Abbildung 5-6).

5.1.9.1 Das Tetscha-Reservoirsystem

Mit der Inbetriebnahme des Anlagenkomplexes Mayak wurden in der Zeit von 1949 bis 1956 etwa 76 Mio. m³ flüssigen Abfalls mit einer Gesamtaktivität von etwa $7,7 \times 10^{16}$ Bq in den Fluss Tetscha abgeführt. Im Jahr 1955 trat der Fluss über die Ufer und kontaminierte die umliegenden Felder, die den Ortsansässigen als Nahrungs- und Einnahmequelle dienten. Durch Sedimentation lagerten sich große Mengen an Radionukliden am Boden und Ufern des Kyzyltaschsees (R#2) ab. 1956 wurde die Einleitung gestoppt, da die in den umliegenden Ortschaften ansässigen Bewohner zunehmend an den Folgen der Kontaminierung des Flusswassers litten. Um die Ausbreitung der größtenteils in den Bodensedimenten abgelagerten Nuklide zu verhindern wurden Dämme errichtet und die Reservoirs R#3, R#4, R#10 und R#11 angelegt.

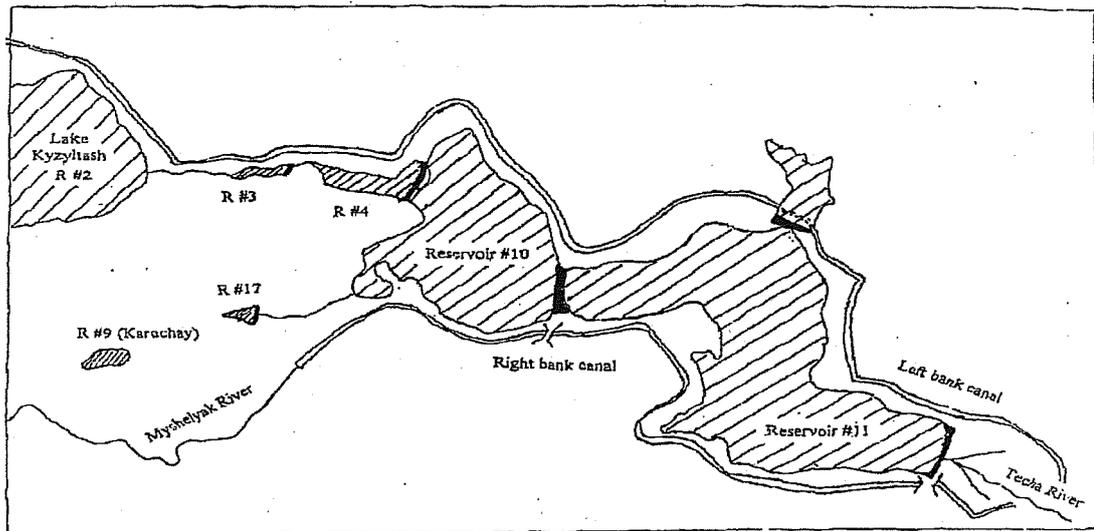


Abbildung 5-6: Die Flusskaskaden und Reservoirs für radioaktiven Abfall in Mayak.

/BER94/

Alle Gewässer in der Umgebung des Anlagenkomplexes Mayak sind durch die Entsorgung von radioaktiven Abfällen mehr oder minder stark belastet. Nach /BEL04/ können sie in vier Gruppen eingeteilt werden:

- Flüsse in welche bei der Plutoniumproduktion hochaktive LRW abgeleitet wurden. Dies führte zu einer Anreicherung von langlebigen Radionukliden in den Bodensedimenten. Das betrifft vor allem den Fluss Tetscha.
- Wasserreservoirs, die zur Beseitigung von LRW mit unterschiedlicher Aktivität dienen. Das sind die Becken R#2, R#3, R#4, R#9, R#10 und R#11, die nach Stauung des Flusses Tetscha im Oberlauf entstanden sind, und R#17. Die Staubecken sollen die weitere Ausbreitung des eingebrachten radioaktiven Abfalls verhindern.
- Gewässer, die durch die Explosion 1957 verseucht wurden. Sie liegen in nordöstlicher Richtung von Mayak; die größten Seen sind Uruskul und Berdenisch. Die in diesen Gewässern gemessene Radioaktivität ist geringer als die des Wassers in den Abfallbecken.
- Grundwasserreservoirs die sich infolge von LRW-Lagerung in Gewässern gebildet haben – ohne ausreichenden Sickerschutz. Das ist vor allem im Bereich des Karatschaiseses der Fall.

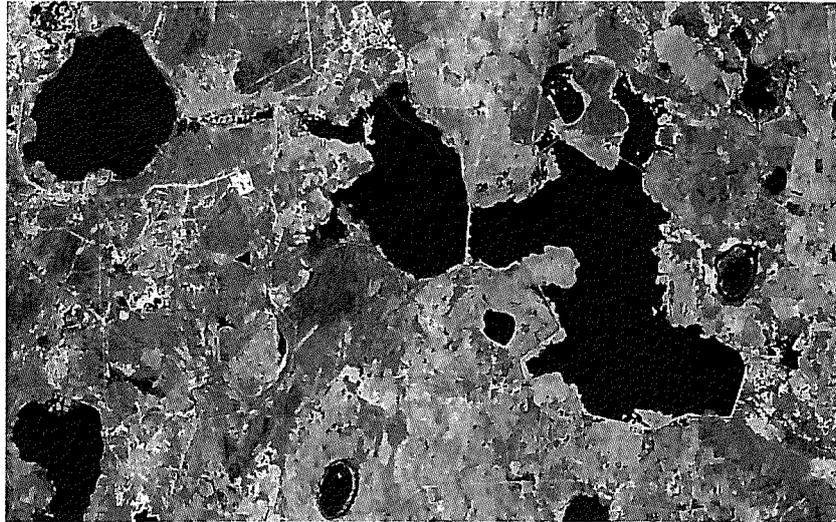


Abbildung 5-7: Luftaufnahme des Mayak-Gewässersystems. Links ist der zubetonierte Karatschaisee zu erkennen /GOO09/

Das Reservoir R#6 (Tatyschsee) dient als Zulauf zum Wasserkreislauf und als Deponie für gereinigte Haushalts- und Industrieabwässer.

Mehr als 95% der abgelagerten Radionuklide sind in den Bodensedimenten gebunden. Dennoch können die im Wasser gelösten Bestandteile durch Verdunstung und Wind in das umliegende Gelände getragen werden.

Die in die Gewässer eingebrachten Aktivitätsmengen sind in Tabelle 5-3 zusammengefasst.

Tabelle 5-3: Aktivitätsinhalt der Wasserreservoirs in Mayak /BEL04/

Reservoir	Aktivität [TBq]	Wasseroberfläche [km ²]	Kapazität [10 ⁶ m ³]
R#9	4,4 Millionen	-	-
R#17	74000	-	-
R#10	8500	18	735
R#3	1600	0,8	0,8
R#11	962	43,6	291
R#2	814	18,2	81,2
R#4	270	1,3	4
R#6	11	-	-

Heute wird das Reservoirsystem immer noch zur Lagerung von schwachaktivem LRW genutzt. Der bis 2004 in das Tetscha-Reservoirsystem eingebrachte LRW ist in Tabelle 5-4 aufgelistet.

Tabelle 5-4: Abwässer, die bis 2004 in das Tetscha-Reservoirsystem abgeführt wurden /BEL04/

Abfall	Volumen [m ³]	Aktivität
Radioaktives Abwasser	0,4-0,5 x 10 ⁶	bis zu 3700 kBq/l
Spezielles Reinigungswasser	70-80 x 10 ⁶	bis zu 370 kBq/l
Industrieabwasser	20-25 x 10 ⁶	Bis zu 37 kBq/l
Haushaltsabwasser	6-7 x 10 ⁶	Bis zu 3,7 kBq/l

5.1.9.2 Karatschaisee

Im Jahre 1951 begann man mit der Einlagerung von radioaktiven Abfällen in den Karatschaisee im Südosten des Anlagenkomplexes Mayak. Dabei wurden insgesamt $4,4 \times 10^9$ TBq in den Karatschaisee eingebracht. Der Hauptanteil der eingebrachten Aktivität ist in den Bodensedimenten gebunden, etwa 4% sind im Wasser gelöst /BEL04/. Im Frühjahr 1967 wurden nach einem schneelosen Winter einige Uferbereiche des Sees freigelegt. Die darin enthaltenen Radionuklide wurden vom Wind verteilt. Infolgedessen kam es zur drittgrößten Freisetzung von Aktivität im Anlagenkomplex in Mayak. Die vorherrschende Windrichtung war wie zur Zeit des Kyschtym-Unfalls (siehe Abschnitt 5.3), so dass die Radionuklide in bereits kontaminiertes Gebiet getragen wurden. Die größte Ablagerung fand in der unmittelbaren Umgebung des Sees statt. **In den Jahren 1978 bis 1986 wurde geplant, den See mit Beton zu versiegeln.** Ab 1986 nahmen diese Pläne in drei Phasen Gestalt an. Dabei wurde die Wasseroberfläche von ursprünglich 32.000 m² auf 8.000 m² verkleinert. Ein weiteres Problem ist die Radioaktivitätsverschleppung durch ansässige Tiere, wie Vögel und Fledermäuse. **In Zukunft soll der gesamte See mit Beton verfüllt und die Umgebung rekultiviert werden.**

5.2 Zwischenlagerung/Endlagerung

Russlands Atomenergiekonzept sieht einen geschlossenen Brennstoffkreislauf vor. Abgebrannter Kernbrennstoff ist nach der russischen Auffassung kein Abfall, sondern Wertstoff und wird weitestgehend wiederaufgearbeitet. An allen 31 russischen Kernkraftwerken wird abgebrannter Brennstoff zwischengelagert, bevor er wiederaufgearbeitet wird.

Derzeit existiert in Russland nur ein zentrales Zwischenlager für abgebrannten Brennstoff /NEI06/. Es liegt in Novovoronesch und hat eine Kapazität von 600 t SM. Es handelt sich um ein Nasslager, Betreiber ist Minatom.

Der abgebrannte Brennstoff für die sechs WWER-440-Reaktoren wird vor Ort zwischengelagert (3-5 Jahre), um anschließend zur RT-1 Wiederaufarbeitungsanlage Mayak transportiert zu werden. Der abgebrannte Brennstoff für die WWER-1000-Reaktoren wird ebenfalls 3-5 Jahre am Standort zwischengelagert und danach in das zentrale Zwischenlager gebracht. Derzeit existiert in Russland keine Möglichkeit, diese Brennelemente wiederaufzuarbeiten. Zu diesem Zweck wird derzeit die Anlage RT-2 in

Krasnojarsk gebaut. Der BN-600-Brennstoff wird nach Standortzwischenlagerung zur Wiederaufarbeitung nach Mayak geschickt. Der abgebrannte Brennstoff von russischen Forschungsreaktoren wurde zum Teil schon in Mayak wiederaufgearbeitet. Die übrigen Mengen werden vorübergehend an den jeweiligen Forschungszentren gelagert, bevor sie in Mayak wiederaufgearbeitet werden.

Endlager existieren nur für mittel- und schwachaktiven Abfall. **Das Tetscha-Kaskadensystem, der Karatschaisee (R#9) und der See Staroye Boloto (R#17) in Mayak sind de facto als oberflächennahe Endlager anzusehen.** Eine Rückholung des hier deponierten radioaktiven Materials dürfte technisch schwierig und sehr aufwendig sein. Sie ist nach derzeitigem Kenntnisstand auch nicht vorgesehen. Im russischen Länderbericht /ROS08/ werden **Planungen** erwähnt, die nach einem geeigneten Standort für die Lagerung von nicht wiederaufzubereitendem, abgebranntem Brennstoff und nichtverwertbarem radioaktivem Abfall suchen. **Drei russische Einrichtungen des Brennstoffkreislaufs pumpen schwach- und mittelaktiven Flüssigabfall (mit kurzlebigen Nukliden) in tiefengeologische Speicher.**

Eine Übersicht über die in der RT-1 Anlage produzierten radioaktiven Abfälle ist in Tabelle 5-5

Tabelle 5-5: Radioaktive Abfälle aus der RT-1 Wiederaufbereitungsanlage /BEL04/

Abfallkategorie	Zeitraum 1978-1993	1994-1995	1996-2000	Seit 2000	Bemerkungen
hochaktiv	11050 m ³ in Tanks (~110000 TBq) 1700 m ³ verglaste Blöcke (7,4 Mio. TBq)	520 m ³ verglaste Blöcke	300 m ³ verglaste Blöcke	72 m ³ verglaste Blöcke	Lagerung in speziellen, unterirdischen Lagern mit anschließender Versiegelung
mittelaktiv	19000 m ³ Brei in Tanks (5,2 Mio. TBq)	16000 m ³ in flüssiger Form (in Karachaisee gelagert)	2000 t, Bitumenblöcke	1000 t, Bitumen- und zementblöcke	unterirdische Lagerung in 200 L Fässern
schwachaktiv	In Tetschareservoir eingebracht, teilweise gereinigt	500000 m ³ (nach Reinigung ins Tetschareservoir)	Reinigung mit Rückführung des Wassers für Produktion		Reinigung mit Ionentauschern
Fester Betriebsabfall	50000 t, unbehandelt	3000 t, unbehandelt	Kompaktierung, (verkleinerte Volumen um 80-90%)		Oberflächenlager in Betongebäuden auf dem Gelände

5.3 Besondere Vorkommnisse am Standort Mayak

Der folgenschwerste Unfall ereignete sich am 29.09.1957. Das Ereignis wurde zunächst geheim gehalten, bis es später als der sogenannte „Kyschtym-Unfall“ bekannt wurde. Dabei wurde eine Aktivität von $7,4 \times 10^{16}$ Bq freigesetzt. An einem Lagertank für hochaktive Spaltproduktlösungen kam es zu einer Störung des Kühlsystems. Durch einen Bedienungsfehler wurde das Kühlsystem daraufhin komplett ausgeschaltet. Der Tankinhalt erhitze sich auf 350 °C und bildete ein Explosionsgemisch, dessen Sprengkraft 15 t TNT entsprach. Einige Schätzungen gehen sogar von einer Sprengkraft von 75 bis 100 t TNT aus. Der Tankinhalt wurde freigesetzt und 90 % lagerten sich in unmittelbarer Umgebung ab, während 10 % sich über einen 300 km langen und 8 bis 9 km breiten Korridor in nordöstlicher Richtung verteilten. Insgesamt wurden 23.000 km² kontaminiert. Dieser Bereich wird *East Urals Radioactive Footprint (EURF)* bezeichnet. In diesem Gebiet lebten zum Zeitpunkt des Unfalls 272.000 Menschen. Da sich der Unfall sonntags ereignete und die umliegenden Gebäude kaum besetzt waren, wurde durch die Druckwelle nur ein Mensch verletzt. Dieser Unfall wurde nachträglich mit INES 6 bewertet⁷.

Tabelle 5-6: Vorkommnisse in Mayak /VIB09/

Datum	Ereignis	INES
15.03.1953	KRITIKALITÄTSSTÖRFALL IN EINEM BEHÄLTER MIT PLUTONIUMNITRAT	3
21.04.1957	KRITIKALITÄTSSTÖRFALL IN EINEM BEHÄLTER MIT HOCHANGEREICHERTEM URAN	4
29.09.1957	EXPLOSION IN EINEM HAW-TANK MIT MASSIVER FREISETZUNG	6
02.01.1958	KRITIKALITÄTSSTÖRFALL IN EINEM BEHÄLTER MIT HOCHANGEREICHERTER URANLÖSUNG	4
05.12.1960	KRITIKALITÄTSSTÖRFALL IN EINEM BEHÄLTER MIT PLUTONIUMCARBONATLÖSUNG	3
07.09.1962	KRITIKALITÄTSSTÖRFALL BEI DER AUFLÖSUNG VON PLUTONIUMSCHROTT	3
16.12.1965	KRITIKALITÄTSSTÖRFALL BEI DER AUFLÖSUNG VON HOCHANGEREICHERTEM URANSCHROTT	3
10.12.1968	KRITIKALITÄTSSTÖRFALL BEIM UMFÜLLEN VON PLUTONIUMLÖSUNG IN GEOMETRISCH UNSICHEREN TANK	4

⁷ Zum Vergleich: Der Unfall in Tschernobyl 1986 wurde mit INES 7 kategorisiert.

Im Zeitraum von 1950 bis heute kam es auf dem Gelände der Wiederaufbereitungsanlage Mayak zu acht größeren dokumentierten Ereignissen. Die zugrundeliegenden Daten stammen aus der Datenbank des BfS: „Vorfälle im Brennstoffkreislauf“ /VIB09/.

In den Jahren 1948 bis 2004 wurden insgesamt 180.000 TBq vom Anlagenkomplex Mayak freigesetzt. Die größten Freisetzungen erfolgten bei der Überflutung der umliegenden Felder durch die Tetscha 1949-1951 (100.000 TBq), bei dem Kyschtym-Unfall 1957 (74.000 TBq) und infolge der Verteilung von radioaktiven Ablagerungen an den Ufern des Karatschaisees 1967 (22 TBq). Insgesamt wurde eine Fläche von 25.000 km² kontaminiert, etwa 500.000 Menschen haben erhöhte Strahlendosen erhalten /BEL04/. Die größten Verstrahlungen erlitten die Menschen an den Ufern der Tetscha. Über 7.500 Menschen in 20 Siedlungen erhielten Dosen zwischen 35 und 1.700 mSv. Zum Vergleich: Nach der Strahlenschutzverordnung /SSV08/ beträgt die maximal zulässige effektive Jahresdosis für strahlenexponierte Personen 20 mSv/Kalenderjahr, die Berufslebensdosis 400 mSv.

5.4 Maßnahmen zur Eindämmung der abgelagerten Aktivität

In den letzten Jahren sind in Mayak eine Reihe von Maßnahmen ergriffen worden, die der Verringerung der von der Anlage ausgehenden Umweltgefahren dienen. Weitere Maßnahmen sind für die nähere Zukunft geplant. **Als wichtigstes Problem wurde vom staatlichen Kernenergieunternehmen ROSATOM die Gefahr einer Freisetzung von kontaminiertem Wasser aus dem Tetscha-Reservoirsystem durch Überlaufen der Dämme identifiziert.** Hintergrund sind klimatische Veränderungen im Gebiet um Mayak, die seit Anfang der 80er Jahre zu einem Übergewicht des Niederschlags gegenüber der Verdunstung von Wasser führten, während in den vorangegangenen Jahrzehnten der umkehrte Effekt überwog. Dies führte zu einem Steigen des Wasserspiegels in Reservoir R#11 /GLA09/. Laut /AME08/ und /GLA09/ wurden im Zeitraum von 1999 bis 2008 folgende Schritte unternommen:

- Der Damm von Reservoir R#11 wurde zwischen 2006 und 2008 verstärkt. Weiterhin wurde eine Grundwasserbarriere in den Damm eingelassen.
- Der linksseitige Umleitungskanal wurde instandgesetzt, um eine Vorbeiführung von unkontaminiertem Wasser an den Tetscha-Reservoirs zu ermöglichen.

- Die Inbetriebnahme des sog. „Nord-Bohrloch“-Wasserentnahmesystems ermöglicht es, dem Tetscha-Reservoirsystem bis zu 1,5 Millionen m³ Grundwasser zu entziehen.

Weitere Maßnahmen sind in Planung. Als eine Option wurde ein membranbasiertes Wasserreinigungssystem getestet, das eine Ableitung von gereinigtem Wasser in das offene Flusssystem ermöglichen würde.

Durch eine Reihe von technologisch-organisatorischen Optimierungen konnten die Einleitungen von mittel- und schwachradioaktiven Flüssigabfällen reduziert werden. Weitere Maßnahmen sind geplant. Insbesondere sollen die bei der Wiederaufarbeitung anfallenden Abfälle um die Hälfte reduziert werden. Eine Anlage zur Verdampfung und anschließenden Zementierung von mittelradioaktiven Flüssigabfällen ist in Planung. Sie würde es ermöglichen, die Einleitung von Flüssigabfällen in den Karatschaisee und den Staroye Boloto See zu beenden. Dies ist die Vorbedingung, um die geplante vollständige Verfüllung dieser beiden Reservoirs abzuschließen. Bei Reservoir R#9 sind die Arbeiten dazu seit 1986 im Gange. Die Schließung von Reservoir R#17 ist noch in der Planungsphase.

Ein Beispiel für die Modernisierung der Anlage selbst ist die Entwicklung eines Nuklearmaterial-Überwachungssystems für den Wiederaufarbeitungsprozess, finanziert über das TACIS-Programm (Technical Assistance to the Commonwealth of Independent States) der Europäischen Union. Dieses System, das in Zusammenarbeit mit dem Joint Research Centre (JRC) der Europäischen Kommission konzipiert wurde, ermöglicht nahezu eine Echtzeitüberwachung der Materialflüsse und soll eine Verbesserung der Messgenauigkeiten um einen Faktor zwischen 5 und 10 bringen. Die Tests hierzu sind abgeschlossen. Der Einbau soll in naher Zukunft erfolgen /ITU08/.

6 Zusammenfassung und Bewertung

Bei der schadlosen Verwertung von ausgedientem Kernbrennstoff ist gemäß § 9a Abs.1 AtG unter anderem dafür zu sorgen, dass den in § 1 Nr. 2 bis 4 AtG bezeichneten Zwecken entsprochen wird, nämlich u. a.:

- Leben, Gesundheit und Sachgüter vor den Gefahren der Kernenergie und der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlen zu schützen bzw. dadurch entstandene Schäden auszugleichen,
- die innere oder äußere Sicherheit der Bundesrepublik Deutschland durch die Anwendung der Kernenergie oder das Freiwerden von ionisierender Strahlen nicht zu gefährden,
- die Erfüllung internationaler Verpflichtungen der Bundesrepublik Deutschland auf dem Gebiet der Kernenergie und des Strahlenschutzes zu gewährleisten.

Im vorliegenden Bericht geht es in erster Linie um die Frage, ob die Rückführung von bestrahlten Brennelementen des stillgelegten Forschungsreaktors Rossendorf in die Russische Föderation der in § 1 Nr. 2 AtG genannten Bestimmung entgegensteht.

Die in Rede stehenden Brennelemente sollen in den russischen Anlagenkomplex Mayak verbracht und dort zunächst zwischengelagert und später aufgearbeitet werden. Der daraus wiedergewonnene Brennstoff soll für russische Reaktoren zu Brennelementen mit niedriger Anreicherung verarbeitet werden. Eine Entsorgung durch Wiederaufarbeitung von Brennelementen aus Forschungsreaktoren ist nach dem deutschen Atomgesetz zulässig. Als alternativer Entsorgungsweg kommt eine direkte Endlagerung in Deutschland in Betracht. Derzeit werden die Brennelemente in 18 Transport- und Lagerbehältern des Typs CASTOR MTR 2 im Transportbehälterlager Ahaus zwischengelagert.

Russland hat sich bereit erklärt, im Rahmen einer internationalen Vereinbarung unter Beteiligung der IAEO den aus der früheren UdSSR stammenden Brennstoff von Forschungsreaktoren zurückzunehmen. Der meist höher angereicherte Brennstoff für Forschungsreaktoren enthält auch nach dem Reaktoreinsatz noch einen relativ hohen Anteil an U-235. Eine Abschätzung ergab, dass für den Brennstoff aus dem Forschungsreaktor Rossendorf der Restspaltstoffanteil je nach Brennelementtyp und Abbrand zwischen 13,5 und 30 % U-235 liegen kann, wobei die maximale Anfangsanreicherung ca. 37 % betrug. In Russland soll nach chemischer Aufarbeitung und durch Blenden mit

abgereichertem Uran daraus neuer Brennstoff für Reaktoren mit niedriger Anreicherung (< 5 %) hergestellt werden. Die Wiederaufarbeitungsanlage in Mayak verfügt nach den vorliegenden Informationen auch über eine Prozesslinie zur Aufarbeitung von höher angereichertem Brennstoff. **Derzeit ist die Anlage jedoch nicht in Betrieb, so dass die Brennelemente zunächst auf dem Anlagengelände in Mayak zwischengelagert werden müssen. Über den Zeitpunkt einer Wiederaufnahme des Betriebs liegen keine Angaben vor.** Die Transportbehälter, in denen die Brennelemente zurzeit lagern, sollen nach dem Transport in Russland verbleiben. Ein Rücktransport von radioaktiven Abfällen aus der späteren Wiederaufarbeitung ist nicht vorgesehen. **Insoweit besteht kein Konflikt mit den Voraussetzungen für eine schadlose Verwertung. Ein solcher Konflikt könnte allerdings gesehen werden, wenn man die Umweltsituation in Mayak und die Folgen früherer Störfälle in dieser Anlage in Betracht zieht.**



Das mit internationaler Unterstützung eingeleitete Sanierungsprogramm zur Eingrenzung und Beseitigung der Folgen und radioaktiven Hinterlassenschaften früherer Aktivitäten am Standort Mayak hat dazu beigetragen, die Ableitungen von radioaktiven Stoffen aus der Wiederaufarbeitung in die Umwelt deutlich zu reduzieren. Es ist das erklärte Ziel der dortigen Anlagenbetreiber mit zunehmender Betriebserfahrung und technischer Weiterentwicklung die Anlagen und Prozesse laufend zu verbessern und die Abgabewerte aus den Anlagen zu minimieren.

Russlands Regelwerkssystem für radiologische Sicherheit und Strahlenschutz orientiert sich an den internationalen Anforderungen der IAEA und der EU. Das geltende kern-technische Regelwerk wurde unter maßgeblicher Mitwirkung westlicher Experten erstellt. Inzwischen wurde mit ROSTECHNADZOR eine vom Anlagenbetreiber ROSATOM unabhängige Aufsichtsbehörde und mit dem Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (SEC NRS) eine eigenständige Gutachterorganisation in Russland etabliert.

Russland hat überdies die Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management' der IAEO unterzeichnet und sich damit verpflichtet, alle drei Jahre einen Bericht zur Entsorgungssituation vorzulegen, an den Überprüfungskonferenzen teilzunehmen und sich den kritischen Fragen anderer Länder sowie einer Bewertung im Rahmen der Konferenz zu stellen. Bei der 3. Überprüfungskonferenz im Mai 2009 wurde das Programm zur Rückführung von FR-Brennstoff explizit in der Bewertungsliste der ‚Good Practices‘ aufgeführt.

Der Transport der Brennelemente erfolgt in dafür zugelassenen Behältern. Die verkehrsrechtliche Zulassung basiert auf den Anforderungen der IAE0. Die mittlere Oberflächendosisleistung an den Behältern beträgt laut Antragsunterlagen maximal 0,1 mSv/h für Gammastrahlung und 0,025 mSv/h für Neutronenstrahlung. Dies entspricht den in der Genehmigungspraxis für Transport- und Lagerbehälter mit bestrahlten Brennelementen üblichen Werten. Eine durch das Bundesamt für Strahlenschutz zu erteilende Genehmigung stellt sicher, dass auch die grundlegenden Anforderungen nach der Zweckbestimmung des AtG und damit die Voraussetzungen einer schadlosen Verwertung eingehalten werden. Transporte durch andere Länder sowie innerhalb Russlands unterliegen auch den Transportbestimmungen der IAE0.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass auch unter Berücksichtigung **der derzeit noch problematischen Umweltsituation am Standort Mayak**, die jedoch auf frühere Versäumnisse und Defizite zurückgeht und an deren Verbesserung mit Erfolg gearbeitet wird, die Voraussetzungen für eine schadlose Verwertung nach § 1 Nr. 2 AtG durch Rückführung der bestrahlten Brennelemente des stillgelegten Forschungsreaktors Rossendorf zur späteren Wiederaufarbeitung gegeben sind.

Als alternativer Entsorgungsweg zur Wiederaufarbeitung der Brennelemente käme eine weitere Zwischenlagerung im Behälterlager Ahaus und die anschließende direkte Endlagerung in Deutschland in Frage. **Dieser Entsorgungsweg erscheint unter dem Aspekt der schadlosen Verwertung ebenfalls als gangbar.** Hierzu ist jedoch anzumerken, dass zum einen in näherer Zukunft in Deutschland kein Endlager für ausgediente Kernbrennstoffe zur Verfügung stehen wird. Zum anderen ist die Endlagerung von Brennstoff mit höherem Spaltstoffanteil (bis zu 30 % U-235) im Hinblick auf eine dauerhafte Gewährleistung und Nachweisführung der Unterkritikalität in der Nachbetriebsphase des Endlagers schwierig und wird erhöhten technischen Aufwand für eine geeignete Konditionierung der Brennelemente zur Endlagerung erfordern. Diese Problematik ist bisher nicht abschließend untersucht. In Anbetracht dieser Situation wäre speziell bei Brennelementen aus Forschungsreaktoren mit höherem Restspaltstoffanteil (<10 % U-235 Äquivalent) aus sicherheitstechnischer wie auch ökonomischer Sicht die Rückgewinnung und Verarbeitung zu niedrig angereichertem Brennstoff einer direkten Endlagerung vorzuziehen, sofern eine geeignete Anlage zur Wiederaufarbeitung (wie in Mayak) zur Verfügung steht.

Gegen eine Rückführung bestrahlter Brennelemente aus dem Forschungsreaktor Rossendorf nach Russland bestehen unter dem Aspekt der schadlosen Verwertung nach § 9a und § 1 Nr. 2 AtG daher keine Bedenken.

7 Literaturverzeichnis

/GLA09/ al., Yu. V. Glagolenko et. 2009. *Experience in Rehabilitating Contaminated Land and Bodies of Water Around the Mayak Production Association.* s.l. : National Academy Press, 2009.

/AME08/ AMEC NSS Limited. März 2008. *Global Partnership Phase III Nuclear Submarine Dismantling Program - PA Mayak Report TB004/RP/005 R00.* März 2008.

/ATA09/ AtAV. 2009. *Verordnung über die Verbringung radioaktiver Abfälle oder abgebrannter Brennelemente (Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung - AtAV);* Ausfertigungsdatum: 30.04.2009. 2009.

/ATG09/ Atomgesetz. 2009. *Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz - AtG) vom 23. Dezember 1959, zuletzt geändert durch Art. 1 des Gesetzes vom 17. März 2009,.* 2009. (BGBl. I 2009, Nr. 15, S. 556).

/BEL09/ Bellona. 2009.

http://www.bellona.org/reports/The_Russian_Northern_Fleet_report_chapters/1175948086.76. [Online] 2009.

/BEL04/ Bellona Report Volume 4. 2004. *The Russian Nuclear Industry - The Need for Reform.* 2004.

/GRS06/ GRS Länderbericht. 2006. *Russland - Kernenergienutzung, Sicherheit und Umweltschutz, Verbesserungs- und Unterstützungsprogramme.* 2006.

/GRS93/ GRS. 1993. *Reisebericht Majak, W. Thomas.* 1993.

/GOO09/ <http://maps.google.de/>. 2009. [Online] 2009.

/IAE05/ IAEA. Juni 2005. IAEA-TEC DOC 1452. Juni 2005.

/IAE08/ IAEA. July 2008. IAEA-TEC DOC 1593. July 2008.

/IAE75/ IAEA. 1975. *The Physical Protection of Nuclear Material, INFCIRC/225.* s.l. : International Atomic Energy Agency, 1975.

/IAE72/ IAEA. 1972. *The Structure and Content of Agreements Between the Agency and States Required in Connection with the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons; INFCIRC/153.* s.l. : International Atomic Energy Agency, 1972.

/ITU08/ JRC, Joint Research Center. 2008. *ITU Annual Report 2008.* 2008.

/BER94/ Lawrence Berkeley Laboratory, University of California. 1994. *The Cascade of Reservoirs of the "Mayak" Plant: Case History and the First Version of a Computer Simulator.* Berkeley, California : s.n., 1994.

/NEI06/ Nuclear Engineering International. 2006. *World Nuclear Industry Handbook.* 2006.

/ROS08/ Rosatom et. al. 2008. *The National Report of the Russian Federation on Compliance with the Obligations of the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and the Safety of Radioactive Waste Management.* 2008.

/SSV08/ Strahlenschutzverordnung. 2008. *Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung-StrlSchV), zuletzt geändert durch Art. 2 des Gesetzes vom 29. August 2008.* 2008. (BGBl. I. 2008, Nr. 40, S. 1793).

/VIB09/ Vorfälle im Brennstoffkreislauf. 2009. *VIBS "Vorfälle im Brennstoffkreislauf"-Datenbank des Bundesamts für Strahlenschutz.* März 2009.

/WAK97/ WAK Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe Betriebsgesellschaft mbH. 1997. *Kurzbeschreibung der Verglasungseinrichtung Karlsruhe VEK.* 1997.